



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

José Pedro Ramos Vaz

**Planeamento do processo produtivo e otimização  
dos tempos de preparação e de produção na secção  
de impressão de uma Indústria Gráfica**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação do(s)

Professora Doutora Maria Leonilde Rocha Varela

Professor Doutor Bruno Gonçalves

julho de 2019

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição  
CC BY

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro, aos meus pais e ao meu irmão, que me daram as bases para ser quem hoje sou e por sempre me fazerem sentir especial.

À minha namorada, por todo o amor, apoio e compreensão. Sem ela não tinha sido possível.

À minha orientadora, Dr.<sup>a</sup> Maria Leonilde Rocha Varela, pela sua disponibilidade e conhecimentos partilhados e ainda pela sua boa disposição e otimismo nas fases mais complicadas.

Ao Dr. <sup>o</sup> Bruno pelo tempo despendido em aperfeiçoar o desenvolvimento em SIMIO<sup>™</sup>.

A todos os que me acompanharam durante este percurso académico, tanto durante a licenciatura em gestão como durante o mestrado em engenharia de sistemas, mas em especial ao meu colega e amigo Luís Martins, por toda a ajuda que deu na tomada de decisões mais complexas.

Por fim, a toda a equipa da **Norprint, Artes Gráficas, S.A.**, que me recebeu de braços abertos, com especial ênfase para o Eng.<sup>o</sup> José André, que apostou em mim e me deu a oportunidade de realizar a dissertação na empresa e ainda à Doutora Conceição pela seriedade e prontidão da resolução de todos os assuntos.

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

A presente dissertação, apresentada à Escola de Engenharia da Universidade do Minho, serve para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Sistemas. Este projeto teve por base um estágio na empresa **Norprint, Artes Gráficas, S.A.** O principal objetivo deste trabalho foi a elaboração de um estudo sobre regras de escalonamento bem como a análise e otimização (através da simulação) dos processos na secção de impressão da empresa.

Esta dissertação iniciou-se com uma revisão da literatura sobre sistemas de produção bem como o seu planeamento com diversos procedimentos otimizadores. Foi ainda abordado o tema de simulação e da sua integração com os métodos produtivos.

O estudo da empresa foi iniciado realizando uma breve apresentação da mesma assim como os processos do seu sistema produtivo, identificando aspetos que poderiam ser melhorados.

Após a elaboração de uma análise crítica à empresa, definiu-se o modelo de simulação a testar, de modo a validar um novo método produtivo para a empresa.

Para a obtenção de uma solução viável para a empresa, foram usados diferentes métodos de controlo de atividade produtiva de modo a testar qual deles poderia trazer mais rendimento para a empresa. Foram usados e simulados dois dias de trabalho como exemplo e foram alterados os seus modos de produção (segundo os mecanismos do controlo da atividade produtiva), para obtenção dos seus resultados.

No decorrer da análise dos resultados, o mecanismo *CONWIP* obteve maior rendimento comparativamente ao método *Routing Group* e Casos Reais.

Dentro do mecanismo *CONWIP*, o método "*Largest Value First*", mostrou superioridade relativamente aos métodos "*Short Value First*" e "*First In First Out*", ao produzir maior quantidade, com a mesma qualidade num menor intervalo de tempo.

A aplicação deste novo procedimento na Norprint poderá ajudar a aumentar e a melhorar a produção, pois visa a eliminação de custos no mesmo horizonte temporal e ainda sem a utilização de recursos adicionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** CONTROLO DE PRODUÇÃO; OTIMIZAÇÃO; SIMULAÇÃO; ESCALONAMENTO.



## ABSTRACT

The present dissertation, presented to the School of Engineering of the University of Minho, serves to fulfil the requirements needed to obtain a master's degree in Systems Engineering. This project was based on an internship at the company **Norprint, Artes Gráficas, SA**.

The main objective of this work was the elaboration of a study on scheduling rules as well as the analysis and optimization (through simulation techniques) of the processes involved in the printing sector of the organization.

This dissertation began with a review of the literature on production systems as well as its planning with various optimization procedures. Ultimately, approaching the theme of simulation and its integration with productive methods.

After a carefully diagnostic to the company, was done a brief presentation of the company as well as the processes of its productive environment and identifying aspects that could be improved.

From this critical analysis, a simulation model to be tested was defined, in order to validate a new productive method for the company.

To obtain a viable solution for the company, different methods of controlling productive activity were used to test which one could bring more income to the company. Two working days were presented and simulated. Also, their modes of production (according to the production control mechanisms) were changed to obtain results.

During the analysis of the outcomes, the *CONWIP* mechanism obtained a higher performance compared to the *Routing Group* and Real Cases methods.

Within the *CONWIP* mechanism, the "*Largest Value First*" method showed superiority over the "*Short Value First*" and "*First In First Out*" methods, by producing more quantity, with the same quality in a shorter period of time.

According to the results obtained, the application of this new procedure within **Norprint** can help to increase and improve production, as it aims to eliminate costs in equal time horizon and without using any additional resources.

**KEYWORDS:** PRODUCTION CONTROL; OPTIMIZATION; SIMULATION; SCHEDULING.





## ÍNDICE

Direitos de autor e condições de utilização do trabalho por terceiros.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Declaração de integridade .....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas .....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	xiv
1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologias.....	2
1.4 Estrutura do Relatório.....	3
2. A Empresa: Norprint Artes Gráficas, S.A. ....	5
2.1 Caracterização da Empresa.....	5
2.2 Breve História .....	7
2.3 Produtos .....	9
2.4 Sistema Produtivo .....	10
2.5 Análise e Mapeamento dos Processos em Estudo.....	12
2.6 Análise Crítica e Identificação de Problemas .....	19
3. Revisão Bibliográfica .....	21
3.1 Sistemas de Produção.....	21
3.2 Planeamento e Controlo de Produção (PCP) .....	22
3.3 Controlo da atividade de produção (CAP) .....	24
3.4 Modelação e Simulação.....	34
4. Caso Industrial.....	39
4.1 Problema Inicial .....	40
4.2 Dados .....	40
4.3 Modelo de Simulação .....	43

5. Estudo de Simulação .....	49
5.1 Caso Real 1 – 3 e 4 de abril de 2018.....	49
5.2 Caso Real 2 – 24 e 25 de maio de 2018.....	55
5.3 Conclusão dos Resultados.....	60
6. Conclusões.....	63
6.1 Experiência na Norprint.....	63
6.2 Trabalho Futuro .....	63
Referências Bibliográficas .....	65
Anexos .....	67
Anexo I – Tempos de Produção .....	67
Anexo II – Combinações de produtos .....	69
Anexo III – Dados Modelo Global.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Logótipo da Norprint .....	5
Figura 2. Localização Geográfica da Empresa (Obtida através do Google Maps) .....	5
Figura 3. Instalações da Norprint S.A. ....	5
Figura 4. Organograma da Norprint (Fonte: o autor através de recolha de dados) .....	6
Figura 5. A primeira máquina de impressão, criada por Gutenberg.....	7
Figura 6. Fundadores da Norprint .....	8
Figura 7. Obra: "Quinta do Vallado – 300 Anos no Coração do Douro" .....	8
Figura 8: Exemplo de um livro de capa dura ("Marcelo Rebelo de Sousa, 1 ano depois") .....	9
Figura 9: Exemplo de um livro de capa mole ("Boa Cama, Boa Mesa") .....	9
Figura 10. Diagrama dos produtos produzido pela Norprint S.A. ....	10
Figura 11. Matérias primas usadas .....	10
Figura 12. Layout Produtivo da Empresa.....	11
Figura 13. Fluxo de Informação na Norprint .....	13
Figura 14. Fluxo de Material na Norprint .....	13
Figura 15. Chapas (cor ciano).....	14
Figura 16. Secção Impressão (1 das 4 máquinas).....	14
Figura 17. KBA 105 (Fonte: <a href="https://www.koenig-bauer.com/en/">https://www.koenig-bauer.com/en/</a> ) .....	15
Figura 18. Colocação das chapas nas torres de impressão.....	15
Figura 19. Mecânica de Impressão (Fonte: <a href="https://www.koenig-bauer.com/en/">https://www.koenig-bauer.com/en/</a> ) .....	16
Figura 20. Zonas de preparação na secção de impressão da Norprint .....	16
Figura 21. Zona de saída do produto final .....	17
Figura 22: Fluxograma da preparação da impressão .....	18
Figura 23. Secção de Acabamentos da Norprint.....	19
Figura 24. Definição de Sistema de Produção (Fonte: Carmo, 2015) .....	21
Figura 25. Enquadramento geral do Planeamento e Controlo da Produção .....	22
Figura 26. Sistema de 2 cartões da Toyota - TKS .....	25
Figura 27: Sistema Pull - CONWIP.....	26
Figura 28: Sistema Push - CONWIP.....	26
Figura 29. GKS para ambientes dinâmicos.....	27
Figura 30. Fluxo de Cartões POLCA .....	27

Figura 31. Representação do Layout da Empresa (Em SIMIO™) .....	39
Figura 32. Ambiente produtivo da Norprint modelado no software SIMIO™ .....	43
Figura 33. Fase Inicial .....	44
Figura 34. Propriedades de cada estação de trabalho .....	45
Figura 36. Ambiente produtivo da Norprint.....	46
Figura 37. Ambiente produtivo apenas com 3 máquinas .....	47
Figura 38: Entity Destination Type - Routing Group .....	47
Figura 39. Modelo CONWIP no SIMIO™ .....	48
Figura 40. Propriedades do Resource1 .....	48
Figura 41. Modelo Real do caso 1 .....	50
Figura 42. Routing Group - Caso Real 1 .....	50
Figura 43. Impacto no “tempo no sistema” pelo método Routing Group .....	51
Figura 44. Impacto “cumprir data de entrega” pelo método Routing Group .....	52
Figura 45. Resultados Caso Real 1 – CONWIP .....	53
Figura 46: Impacto no “tempo no sistema” pelo método CONWIP .....	54
Figura 47. Impacto no “cumprir data de entrega” pelo método CONWIP .....	54
Figura 48. Modelo Real do caso 2.....	55
Figura 49. Resultados Caso Real 2 - Routing Group .....	56
Figura 50: Impacto no “tempo no sistema” pelo método Routing Group .....	57
Figura 51. Impacto no “cumprir data de entrega” pelo método Routing Group .....	57
Figura 52. Resultados Caso Real 2 – CONWIP .....	58
Figura 53: Impacto no “tempo no sistema” pelo método CONWIP .....	59
Figura 54. Impacto no “cumprir data de entrega” pelo método CONWIP .....	59
Figura 55. Resumo dos Resultados .....	61

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Legenda da Figura 12 .....	12
Tabela 2: Classes de tempos de preparação .....	41
Tabela 3. Combinações possíveis de produtos .....	42
Tabela 4: Regras usadas no modelo de simulação .....	46
Tabela 5: Medidas de desempenho usadas.....	46
Tabela 6: Dados Caso Real 1 (tempos em horas) .....	49
Tabela 7: Regras usadas para o Caso Real 1 - Modelo Routing Group.....	50
Tabela 8: Regras usadas para o Caso Real 1 - WIP.....	52
Tabela 9. Dados Caso Real 2 (tempo em horas).....	55
Tabela 10: Tempos de produção das famílias de produtos (tempos em horas) .....	67
Tabela 11: Combinações de produtos existentes na Norprint.....	69
Tabela 12: Dados importados no modelo global (tempos em horas) .....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

BB	Branch and Bound
CAP	Controlo da Atividade Produtiva
CONWIP	Constant Work in Progress
FIFO	First in First Out
GKS	Generic Kanban System
JIT	Just in Time
LPT	Largest Processing Time
LVF	Largest Value First
MTO	Make-to-Order
MTS	Make-to-Stock
OTED	One-Touch Exchange of Die
PCP	Planeamento do Controlo de Produção
POLCA	Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization
SIMIO	Simulation Modeling framework based on Intelligent Objects
SMED	Single-Minute Exchange of Die
SPT	Shortest Processing Time
SVF	Shortest Value First
TKS	Toyota Kanban System
TSP	Traveling Salesman Problem
WIP	Work in Process







# 1. INTRODUÇÃO

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito da dissertação para a conclusão do Mestrado em Engenharia de Sistemas - ramo de logística. Foi realizado um estágio curricular com a duração de 6 meses (entre 6 de fevereiro de 2018 e 6 de julho de 2018), na Norprint, Artes Gráficas, S.A. O tema da dissertação é referente à otimização e planeamento do sistema de produção da secção de impressão da empresa. No presente capítulo, é apresentado o enquadramento do trabalho desenvolvido, os seus objetivos, bem como as metodologias de investigação adotadas.

## 1.1 Enquadramento

A competitividade está presente em todos os momentos da nossa vida bem como no meio empresarial, não só devido à globalização, mas também pela facilidade com que os produtos são exportados. Estas facilidades de comercialização aliadas à exigência de baixo preço e elevada qualidade, fazem com que em cada empresa, seja cada vez mais importante a monitorização dos processos com melhoria no desempenho. Doutra forma as empresas enfrentarão um elevado grau de risco, resistindo apenas os mais fortes e com capacidade de mudança.

Os requisitos impostos à qualidade das empresas mudaram consideravelmente e a habilidade de operar e otimizar a produção e redes logísticas de forma estável é essencial para o futuro das empresas industriais. Procedimentos, métodos e regras são necessárias para conservar recursos, produzir eficientemente e eliminar desperdícios.

Neste contexto, a presente dissertação focar-se-á essencialmente nas áreas de gestão e controlo do sistema produtivo nomeadamente a redução de tempos de produção. Numa primeira fase foi realizada uma revisão teórica de literatura e numa fase posterior foi elaborado um estágio curricular na empresa Norprint Artes Gráficas SA, em Santo Tirso.

A escolha deste tema foi sugerida após uma análise profunda ao sistema produtivo da empresa, com a finalidade de reduzir os tempos totais de produção e consequentemente reduzir também os prazos de entrega, sem, em circunstância alguma, reduzir a qualidade das suas obras produzidas. Com isto, e através de um software de simulação (SIMIO) poderá ser avaliado o desempenho de entrega de diferentes sistemas de controlo de produção (Silva et al., 2017). Os resultados da pesquisa irão indicar se, de facto, foi uma melhoria ou não para a empresa, através da redução dos tempos de produção e consequentemente maior satisfação do cliente.

Para qualquer empresa, minimizar os custos e melhorar a qualidade do seu serviço é um objetivo intrínseco, e a Norprint não foge à regra.

## 1.2 Objetivos

Um eficiente controlo de todos os materiais e matérias-primas é essencial numa organização e consiste numa atividade fundamental para o bom funcionamento de toda a cadeia de abastecimento, mas principalmente é essencial para cumprir prazos até ao consumidor final.

Posto isto, o objetivo principal na elaboração desta dissertação será obter um melhor planeamento e fluxo dos processos de produção e ainda uma redução dos tempos de produção, com a ajuda de um software de simulação.

Para isto foi necessário estudar todo o processo de produção da empresa na fabricação dos seus produtos. De seguida, serão estudadas, definidas e desenvolvidas algumas metodologias relacionadas com gestão de materiais e depois, através de modelação matemática e o software SIMIO, propor uma solução de melhoria.

Por fim, analisar os resultados e verificar se realmente a proposta seria benéfica para a empresa.

De forma resumida, os objetivos propostos a alcançar neste projeto são:

- Realizar um estudo na empresa para perceber o que realmente pode ser melhorado.
- Depois de feita essa análise, apresentar um modelo com a capacidade de reduzir os tempos de produção, de modo a fazer maior quantidade de obras produzidas no mesmo horizonte temporal sem ter qualquer tipo de custo adicional.

## 1.3 Metodologias

A metodologia usada na dissertação é uma fase muito importante da sua elaboração, porque se trata da fase onde se encontra a base da investigação. As abordagens de investigação desdobram-se em dedutiva e indutiva.

A dedutiva consiste no desenvolvimento de uma teoria submetendo-a a rigorosos testes. É a mais frequente nas ciências sociais, onde persiste a explicação baseada em leis, antecipam-se fenómenos, prevê-se a sua ocorrência e consegue-se o controlo dos mesmos. A abordagem indutiva consiste na recolha e análise de dados e na decorrente formulação de teorias (Cordeiro, 2011).

A abordagem a adotar será a abordagem dedutiva porque o objetivo do projeto é desenvolver uma metodologia com base no seu próprio funcionamento com dados retirados na empresa durante a realização do projeto.

O processo de investigação inclui diversas etapas, designadamente:

1. Identificar o problema da empresa;
2. Revisão de Literatura;
3. Recolher todos os dados pertinentes para o futuro;
4. Planear as mudanças e melhorias a implementar e implementá-las com a ajuda dos colaboradores;
5. Recolher os resultados, cuidadosamente analisados, e apresentá-los à empresa como possível solução de melhoria do problema.

Para conseguir alcançar os objetivos propostos, foi aplicada a estratégia de investigação que mais se adequa à presente dissertação. Depois de estudadas todas as metodologias, a que mais se enquadra é a metodologia **Estudo de Caso**, pelo simples facto de desenvolver competências estudadas durante a realização do mestrado. Em mais detalhe sobre esta metodologia e segundo Saunders et al., 2008 temos:

- O desenvolvimento de conhecimento detalhado, intensivo, acerca de um caso, ou um pequeno número de casos relacionados; particularmente útil para responder ao “porquê”, ao “quê”, ao “como”;
- Técnicas usadas incluem entrevistas, observação, análise de conteúdos e questionários;
- Pode ser uma forma válida de explorar teoria existente;
- Pode ser uma forma válida de questionar teoria existente e fornecer novas hipóteses.

#### 1.4 Estrutura do Relatório

Esta dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos.

No capítulo 1 é apresentado o enquadramento e objetivos deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma caracterização de toda a estrutura, história e sistema produtivo da Norprint. Ainda no segundo capítulo é feita uma análise crítica ao sistema de produção. Numa primeira parte, uma descrição do funcionamento e depois outra descrição de algumas ineficiências do mesmo.

No capítulo 3 é apresentada uma revisão da bibliografia que serviu de base para a elaboração de todo o trabalho.

No capítulo 4 é apresentado o estudo de simulação realizado, envolvendo as características do modelo de simulação, as medidas de desempenho consideradas e o plano experimental adotado.

No capítulo 5, são mostrados e analisados os resultados obtidos de todo o trabalho realizado.

Por fim, no capítulo 6, foram retiradas as conclusões do projeto e foram elaboradas propostas de trabalho futuro no seguimento do projeto.

## 2. A EMPRESA: NORPRINT ARTES GRÁFICAS, S.A.

Neste capítulo, é feita uma breve descrição e caracterização da empresa, bem como os seus produtos comercializados, para uma melhor compreensão do trabalho.

### 2.1 Caracterização da Empresa

A Norprint, S.A. (Logótipo da empresa na figura 1) é uma empresa gráfica de impressão *offset*, (Impressão Offset é um processo de impressão indireto que consiste numa repulsão entre água e



*Figura 1. Logótipo da Norprint*

gordura (tinta)) especializada na produção de revistas, folhetos, relatórios de contas e ainda outros serviços relacionados com a encadernação. No entanto, o Livro é a verdadeira paixão da empresa e a sua principal atividade, tanto os livros de capa dura ou mole (Norprint, 2017).

A missão da Norprint consiste na impressão de obras que satisfaçam elevados padrões de exigência, enriquecendo uma sociedade que se revê na fruição da leitura.

Para além disso, a Norprint tem um compromisso com a sustentabilidade da sua atividade produtiva, para que as gerações futuras possam ter orgulho no seu contributo para a preservação do meio ambiente. As boas práticas ambientais e envolvimento com a comunidade em que está inserida são essenciais nesse propósito.

A Norprint é uma pequena média empresa criada em 1992 e está localizada em Santo Tirso, a 20 km do Porto, Portugal (figura 2 e 3)



*Figura 2. Localização Geográfica da Empresa (Obtida através do Google Maps)*



*Figura 3. Instalações da Norprint S.A.*

É constituída por cerca de 70 colaboradores que fazem o melhor para lidar com a tecnologia moderna.

O principal mercado de atuação é o mercado interno, com diversos clientes fidedignos, no entanto, a Norprint apresenta relações fortes com mercado externo para os quais exporta há muitos anos e consegue manter relações muito sólidas, como por exemplo: Finlândia, Angola, Inglaterra e Espanha. A produção de livros é o *core business* da Norprint que conta com vários departamentos fundamentais para o decorrer normal da sua atividade. Assim sendo, a Norprint está organizada em três grandes departamentos: comercial, financeiro e produção. A área comercial é composta pelos subdepartamentos de compras, cuja principal função é fechar negócio com os clientes e fornecedores. A área financeira está encarregue das tarefas administrativas contendo os subdepartamentos contabilísticos. Por fim, o departamento da Produção está ligado ao planeamento, controlo e manutenção das atividades produtivas, bem como o desenvolvimento do produto e a sua certificação de qualidade. Para tal funcionar dentro dos parâmetros, existe partilha de informação entre todas as secções e cada secção inclui um responsável que tem, entre outras funções, manter o bom funcionamento e bom desempenho do seu departamento (figura 4).

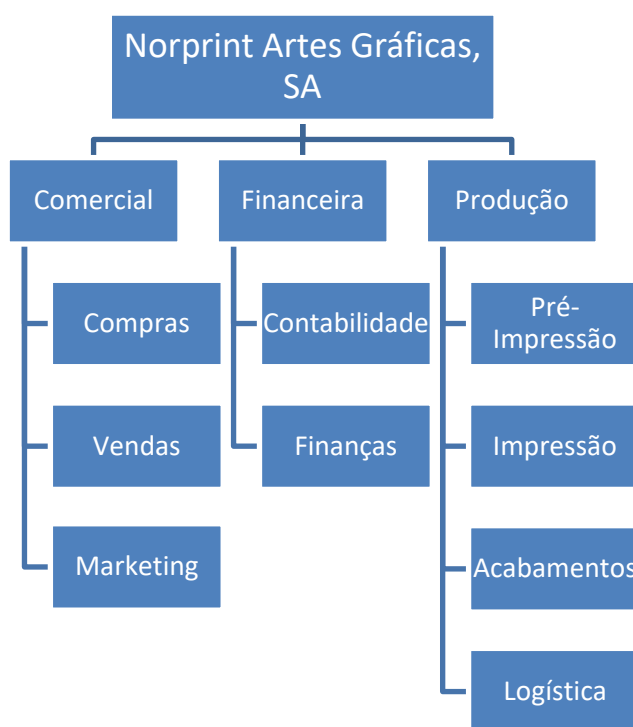


Figura 4. Organograma da Norprint (Fonte: o autor através de recolha de dados)

## 2.2 Breve História

A técnica de impressão foi criada a meio do século XV pelo alemão Johann Gutenberg. A técnica de impressão já tinha sido inventada anteriormente, mas o método usado era diferente, chamado de “impressão em bloco” usando um bloco de madeira talhado, para imprimir uma página com determinado texto (Rees, 2008) (na figura 5 pode ser consultada a primeira máquina de impressão).

Mais concretamente, e segundo John B. Thompson, 1995, a técnica consistia em pequenos blocos metálicos esculpidos em relevo (com o texto) que seriam organizados em placas que receberiam então o nome de matriz (chapa metálica). Seguidamente, seria levada para a prensa. Nesta fase, era aplicada uma pressão na chapa contra diversas folhas de papel produzindo assim uma sequência de páginas. Após esta etapa, a chapa era inteiramente desmontada para receber um novo conjunto de caracteres.



*Figura 5. A primeira máquina de impressão, criada por Gutenberg*

A tecnologia foi evoluindo, e após a máquina de impressão ter chegado a todo o mundo em 1492, quatro profissionais decidiram avançar com um novo projeto gráfico. Dois escritórios no Porto foram a base dos primeiros passos na atividade, que mais tarde passou a ser desenvolvida, a partir de uma unidade produtiva em Santo Tirso, onde ainda hoje se mantém (figura 6).



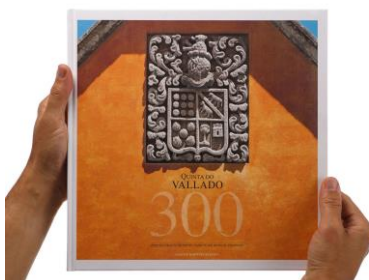
*Figura 6. Fundadores da Norprint*

Com um projeto de aposta na área do livro, rapidamente a empresa conquistou o seu lugar no sector, sendo tida como uma indústria gráfica de referência. A ampliação das instalações, a certificação do Sistema de Gestão de Qualidade e a modernização do parque de equipamentos são apenas aspetos de uma estratégia de desenvolvimento que tem um só objetivo: a qualidade.

Na Norprint, a gestão da qualidade é um aspeto intrínseco à própria cultura organizacional. Não é imposta por razões de sobrevivência no mercado nem por imposição regulamentar.

Para a Norprint, qualidade resume-se a alinhar os objetivos da organização com as práticas e com os indicadores de desempenho, criando regras de hierarquização, organização e divulgação da informação relevante para a atividade.

Aliado a estes fatores, o reconhecimento nacional foi também importante para a sua afirmação no mercado, através de inúmeros prémios, nomeadamente, o prémio de Design Gráfico do ano em 2017, com a obra “Quinta do Vallado – 300 Anos no Coração do Douro” (figura 7). Um prémio de elevado prestígio na indústria Gráfica atribuído no evento “*Papies 2017*”.



*Figura 7. Obra: “Quinta do Vallado – 300 Anos no Coração do Douro”*



## 2.3 Produtos

A Norprint tem no seu portefólio um vasto leque de produtos à disposição dos clientes, mas o produto principal é o livro, e este pode ser de capa dura ou capa mole, como pode ser observado nas figuras 8 e 9.



Figura 8: Exemplo de um livro de capa dura ("Marcelo Rebelo de Sousa, 1 ano depois")



Figura 9: Exemplo de um livro de capa mole ("Boa Cama, Boa Mesa")

Como dito anteriormente, o *core business* da empresa é a produção do livro. No entanto, comercializa também outros produtos, mas todos eles relacionados com a impressão e impressão *offset*.

Na figura 10 podem ser observados todos os produtos que podem ser produzidos na Norprint.



Figura 10. Diagrama dos produtos produzido pela Norprint S.A.

Existem vários tipos de matérias-primas que integram a produção de livros, que vão sendo utilizadas durante o processo, dependendo do tipo de produto. Estas podem ser analisadas no diagrama da figura 11.

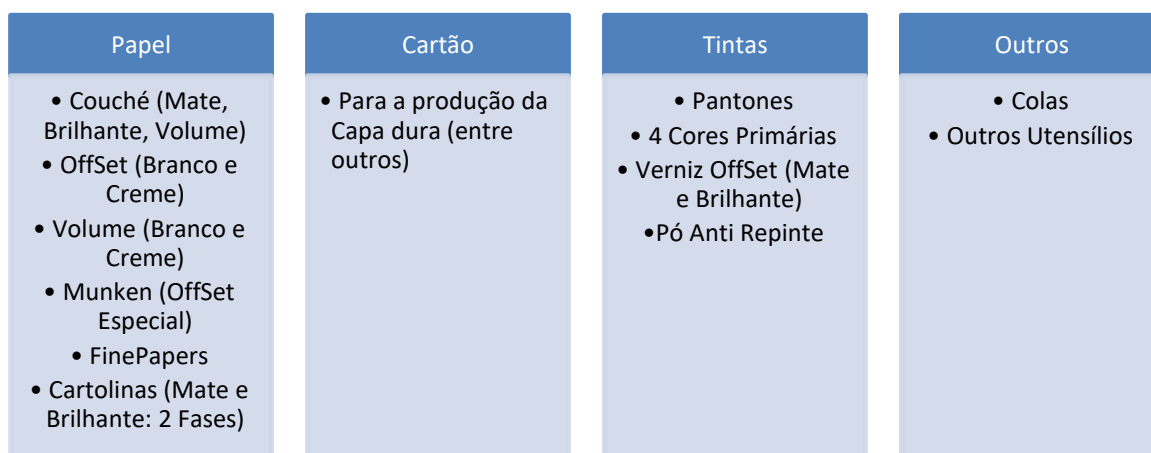


Figura 11. Matérias primas usadas

## 2.4 Sistema Produtivo

Como seria a nossa vida se não existisse qualquer tipo de organização a fornecer os produtos mais básicos que usamos no nosso dia-a-dia? Esta suposição apresentada por Dilworth (1992) pretende mostrar a importância das organizações nas nossas vidas. Neste caso, cada família teria de produzir as suas próprias roupas, construir a sua própria casa, deslocar-se a pé e ainda cultivar os alimentos. Numa sociedade assim não existiriam telemóveis, computadores, televisão, nem mesmo livros. Visto desta

forma, é difícil imaginar quanto tempo seria necessário para produzir um automóvel. E a que preço ficaria esse tal automóvel? As empresas são organizações especializadas em produzir produtos para o consumo, conseguindo, em geral, fazê-lo com grande eficácia recorrendo a sistemas produtivos extremamente eficientes.

O sistema de produção é composto por um conjunto de atividades e operações envolvidas na produção de bens ou serviços que interagem entre si, cada qual com sua responsabilidade, sendo que essa integração vai determinar o resultado do sistema como um todo.

Neste subcapítulo, sobre o *Layout* produtivo, é feita uma descrição das 3 principais secções que constituem o processo produtivo da empresa.

Estas encontram-se divididas em dois pavilhões principais interligados, como podemos verificar na figura 12 e na sua legenda na tabela 1.

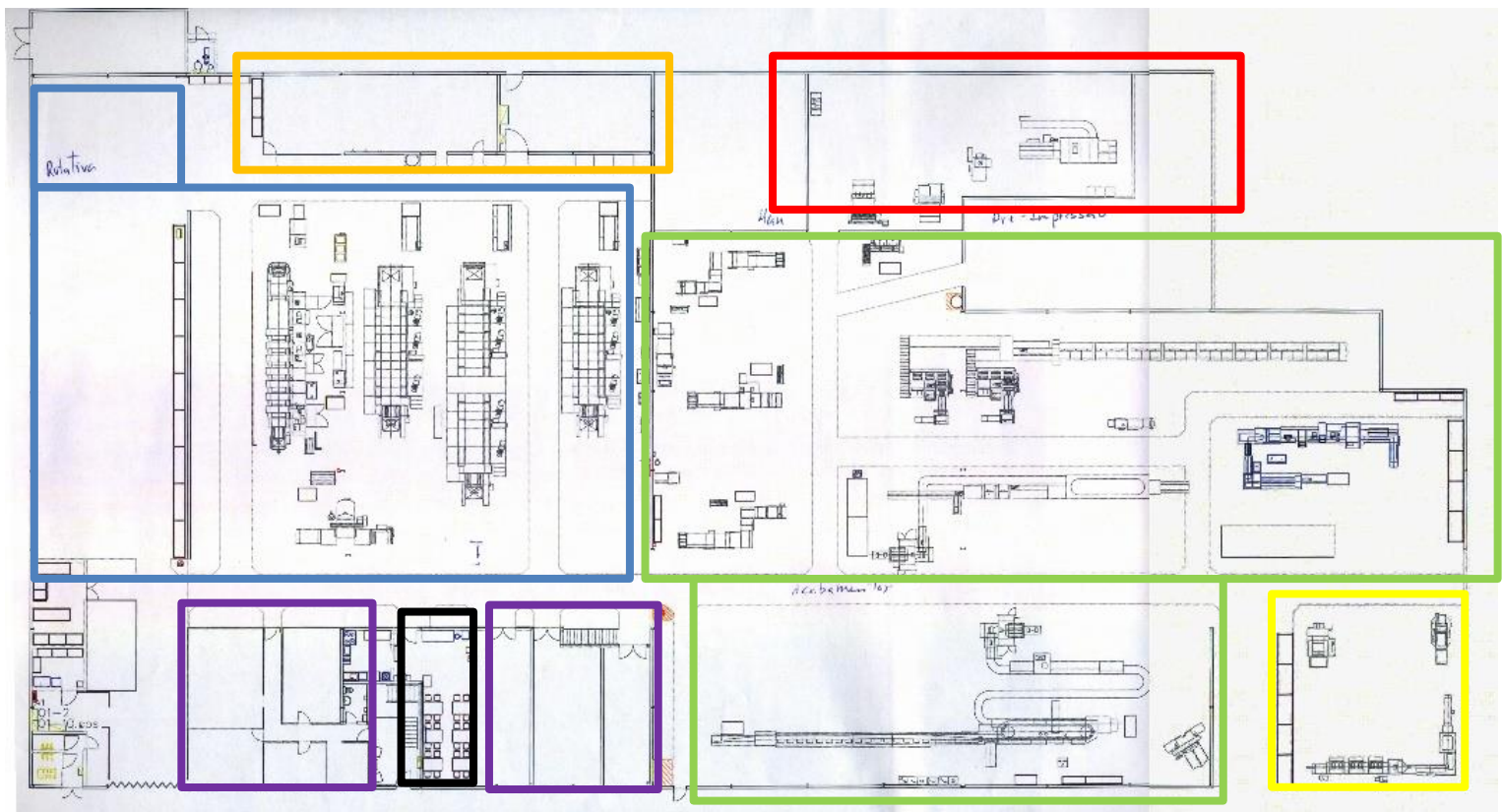


Figura 12. Layout Produtivo da Empresa

Tabela 1. Legenda da Figura 12

	Pré-Impressão
	Impressão
	Acabamentos
	Embalamento e Expedição
	Administração
	Manutenção
	Cantina

Uma empresa no ramo da indústria gráfica como a Norprint tem fundamentalmente três áreas de atividade relacionadas diretamente ao sistema produtivo:

- Secção de Pré-impressão;
- Secção de Impressão;
- Secção de Acabamentos;

As equipas administrativas e comerciais estão indiretamente ligadas à produção da empresa, mas são também muito importantes para que todo o processo produtivo funcione devidamente. Como ferramentas de apoio existem dois softwares essenciais na empresa para o controlo de materiais e de gestão financeira como o *SisTrade* e *SoftCasus*, respetivamente.

## 2.5 Análise e Mapeamento dos Processos em Estudo

Neste subcapítulo realiza-se uma análise ao sistema produtivo da empresa de uma forma mais ampla, descrevendo o fluxo de valor e materiais entre secções. São também apresentados os produtos mais importantes, com base no seu valor de vendas.

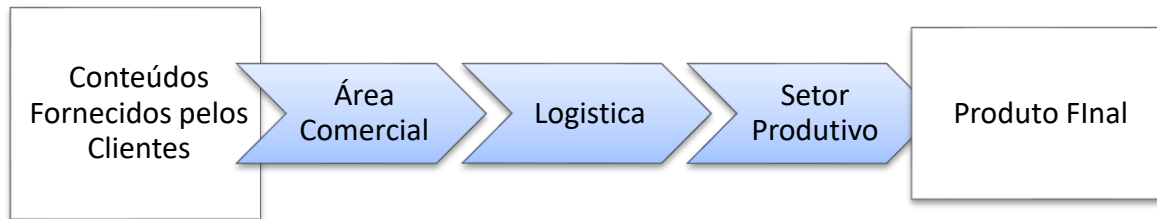
De uma forma geral podemos considerar que o processo produtivo da Norprint não é de complexidade muito elevada. No máximo, um produto pode sofrer até quatro processos de transformação antes da sua expedição.

### 2.5.1 Fluxo de Informação e de Materiais

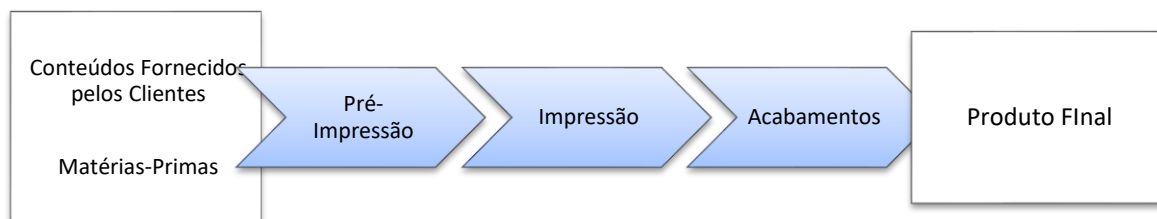
Como já foi referido anteriormente, neste ponto é apresentado o fluxo produtivo da empresa, desde que entra a matéria-prima, até que é expedido e entregue ao cliente. Como é suposto, esta análise começa na entrada de carga e descarga e no armazém de expedição. Aqui a matéria-prima é descarregada dos

camhões e, com auxílio a empilhadores, transportada para as secções destinadas ao armazenamento das matérias-primas.

A indústria de artes gráficas, na sua maioria, trabalha de acordo com as encomendas que recebe, não produzindo para stock - lógica MTO (*Make-to-Order*) - e tem um fluxo fabril de acordo com as fases anteriormente mencionadas e representadas nas figuras 13 e 14. (Ribeiro, 2004).



*Figura 13. Fluxo de Informação na Norprint*



*Figura 14. Fluxo de Material na Norprint*

### 2.5.2 Pré-Impressão

Esta secção é responsável por todas as atividades relacionadas com a preparação dos trabalhos a imprimir assim como o design de toda a obra, nomeadamente a elaboração das chapas para a Impressão.

Estas chapas de poliéster para a impressão de offset são feitas de polímeros vindo substituir as chapas de alumínio e são elaboradas 1 chapa por cada 1 primária, Ciano (C), Magenta (M), Amarelo (Y) e Preto (K) para cada obra (exemplo na figura 15)





*Figura 15. Chapas (cor ciano)*

### 2.5.3 Impressão

Sendo esta secção a área incidente de estudo, a mesma vai ser descrita com mais detalhe relativamente às restantes (figura 16).



*Figura 16. Secção Impressão (1 das 4 máquinas)*

Na Norprint a área de Impressão, é responsável por imprimir em papel ou outros suportes os conteúdos que foram previamente preparados no departamento de pré-impressão. É uma secção a trabalhar com 4 impressoras industriais da **Koenig & Bauer** em paralelo, como pode ser visto nas figuras 16 e 17.



*Figura 17. KBA 105 (Fonte: <https://www.koenig-bauer.com/en/>)*

A essência do funcionamento de uma máquina deste género é muito simples e é similar ao original definido inicialmente por Johann Gutenberg – colocação das chapas com caracteres realçados.

É composta por uma secretária de controlo de toda a produção. Contém 4 torres, onde são colocadas as chapas, figura 18, e cada torre é responsável por 1 cor primária.



*Figura 18. Colocação das chapas nas torres de impressão*

Para além das 4 torres contém ainda uma torre adicional para colocação de outros produtos como verniz e pós anti repintes.

De uma forma mais técnica, os cilindros de impressão de tamanho duplo proporcionam uma transferência suave de folhas, permitindo que a mais ampla gama de substratos e espessuras seja impressa, como pode ser visualizado na figura 19:

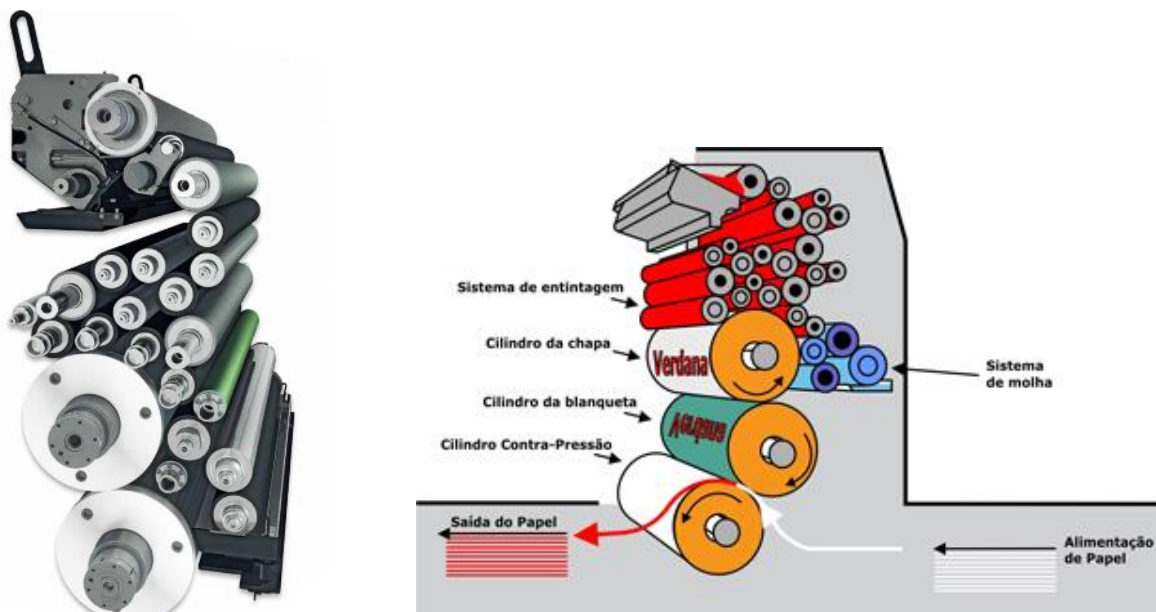


Figura 19. Mecânica de Impressão (Fonte: <https://www.koenig-bauer.com/en/>)

Analisando agora o sistema produtivo desta secção, este é um sistema que se divide em três fases cruciais:

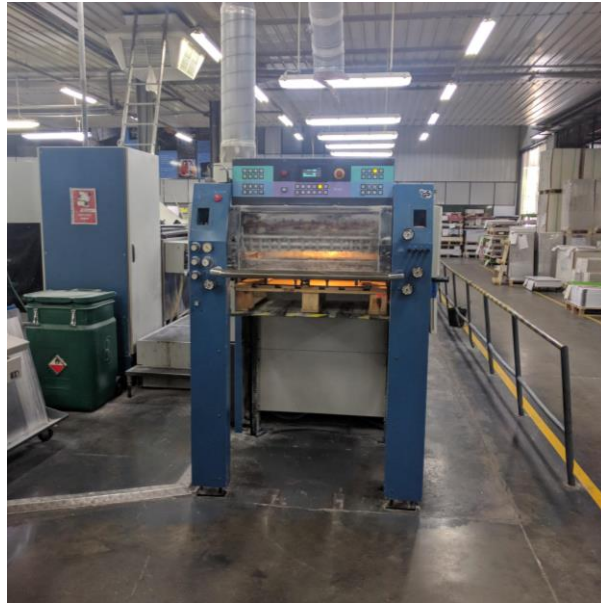
- Preparação – Esta fase envolve: troca de chapas e de papel, abastecimento das torres de tinta, de verniz e pó anti repinte, Guilhotina e ainda produção de Pantones.
- Provas de Cor – Na figura 20 é mostrada uma bancada de trabalho onde são feitas as provas de cor. Nesta fase do processo de impressão é testada a cor exata que é pretendida pelo cliente. É um processo que pode ser acompanhado pelo próprio cliente, o que leva ao aumento dos tempos de preparação.



Figura 20. Zonas de preparação na secção de impressão da Norprint



- Impressão – É a fase que envolve a impressão do todo o miolo do produto. Na figura 21 é possível visualizar uma impressora industrial utilizada pela empresa.



*Figura 21. Zona de saída do produto final*

Tudo começa quando a equipa responsável da Pré-Impressão termina as suas tarefas relativamente a uma obra e transfere o trabalho para a zona de Impressão, mais concretamente, transporta as chapas para a máquina onde vai ser produzida.

Quando a obra anterior termina, os colaboradores da zona de Impressão procedem à substituição das chapas, colocação do tipo de papel indicado e ainda o abastecimento das torres de tinta.

O fluxograma, na figura 22, elaborado no software Microsoft Visio, permitiu obter uma “fotografia” dos métodos de preparação da Impressão, o que ajudou na compreensão do desenvolvimento do resto do trabalho.

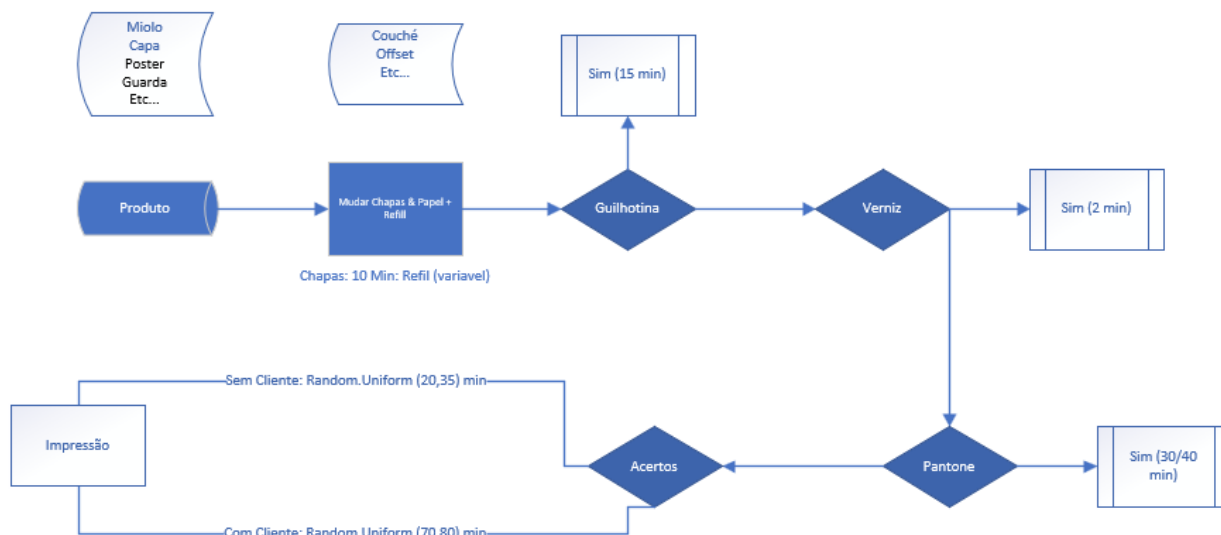


Figura 22: Fluxograma da preparação da impressão

Como podemos observar no diagrama da figura 22, a preparação é uma atividade que cumpre sempre a mesma sequência.

Depois de colocadas as chapas, é preciso verificar o tamanho do papel, para ver se está nas medidas corretas. Se não for esse o caso, o processo principal sofre um subprocesso e será preciso levar a quantidade de papel desejada até à Guilhotina (este subprocesso, por vezes, é realizado no fim da impressão).

Em certos casos, o processo pode passar logo para os acertos de cor, mas noutros casos, pode ainda passar por até outros 2 processos denominados “colocação de verniz” na impressora e “Criação do Pantone”. Os acertos podem ainda ser realizados com a presença e aprovação do cliente.

Depois de todo este processo preparatório, começa a fase de Impressão.

#### 2.5.4 Acabamentos

É responsável pelas atividades finais, como a dobra e encadernamento (figura 23), sobre os trabalhos já impressos, por forma a que estes possam ser entregues aos clientes finais de acordo com os requisitos solicitados.



*Figura 23. Secção de Acabamentos da Norprint*

## 2.6 Análise Crítica e Identificação de Problemas

Neste subcapítulo é apresentada uma análise crítica do estado atual da empresa e serão expostos os principais problemas identificados, que irão posteriormente fundamentar as propostas de melhoria que surgirem para a resolução dos mesmos. Esta análise iniciou-se por toda a empresa, tendo sido posteriormente, exercido um maior foco na secção de Impressão.

### 2.6.1 Planeamento/Sobreposição de Matérias-Primas

Este problema surge no âmbito de existirem clientes fidelizados há muito tempo com a empresa, ou seja, existem clientes com prioridade ou com mais urgência e é preciso colocar certas obras à frente de outras. Desta forma o material que estava destinado para outra obra, é usado nessas obras urgentes, fazendo com que seja preciso esperar por mais matéria prima.

### 2.6.2 Layout do Sistema Produtivo

O layout da zona de produção tem uma particularidade: não está distribuída de forma organizada nem fluida para que o trabalho possa decorrer de uma forma contínua. Como podemos observar na figura 12, a zona da pré-impressão está próxima da zona dos acabamentos e portanto, segundo a sequência de produção, deveria seguir-se da zona de impressão.

Uma melhor organização espacial das secções seria uma medida que poderia levar à redução de tempos de produção e, consequentemente, à diminuição no prazo de entrega.

### 2.6.3 Tempos de preparação muito elevados

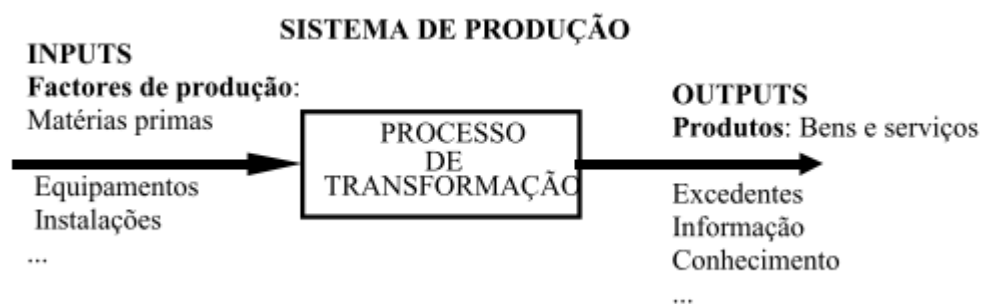
Após análise do sistema produtivo, verificou-se que a percentagem de produtos impressos que terminam dentro do tempo previsto é reduzida. Posto isto, existem tempos de *setup* elevados nesta fase e, consequentemente, atraso nos prazos de entrega dos produtos. Também aqui poderiam ser impostas medidas com vista à organização e, por conseguinte, obtenção de melhores resultados.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo pretende explorar toda a bibliografia que serviu de base para a elaboração deste trabalho, com especial foco no planeamento, controlo e otimização da atividade produtiva bem como a sua integração com a simulação.

#### 3.1 Sistemas de Produção

Sendo um sistema um conjunto ordenado de elementos que se encontram interligados e que interagem entre si (Gallaugher, 2015) e, ainda, o conceito de produção um processo que envolve uma série de etapas e fatores com a finalidade de satisfazer as necessidades da sociedade relativamente a procura e oferta de bens e de serviços (Fusco J, 2007), temos então o processo de produção ou de criação intencional de produtos que se realiza através de um sistema de produção que converte ou transforma as matérias primas, com a ajuda de outros fatores, em produtos finais, ou simplesmente produtos (Carmo, 2015), como se pode verificar na figura 24.



*Figura 24. Definição de Sistema de Produção (Fonte: Carmo, 2015)*

Considerando a definição de um sistema de produção no parágrafo anterior, Lázaro & Gremaud, em 2015, determinou os subsistemas da estrutura de sistema produtivo:

- Desempenho Operacional;
- Desenvolvimento de Novos Produtos;
- Equipamentos e Tecnologias;
- Fábrica;
- Investimentos;
- Gestão Ambiental;

- Organização e Cultura;
- Qualidade;
- Saúde e Segurança;

Posteriormente, Silveira, 2010, integrou mais três categorias de análise:

- Planeamento da Produção;
- Programação da Produção;
- Controlo da Produção.

### 3.2 Planeamento e Controlo de Produção (PCP)

O controlo de produção é a função da Gestão da Produção direcionada ao cumprimento de planos e assim, esta função pode ser dividida em três partes (figura 25):

- Programação da produção;
- Gestão de materiais;
- Controlo da sua atividade.



*Figura 25. Enquadramento geral do Planeamento e Controlo da Produção*

Esta função tem como principais objetivos ajudar qualquer empresa ou organização a aumentar a sua eficiência e qualidade no serviço através de estabelecimento e cumprimento de programas de produção e ainda otimizar a utilização de todos os recursos necessários na produção, e deste modo, contribuir para uma finalidade de maior importância e cumprimento dos prazos de produção (Carmo, 2015). Para além disto, funcionam como mecanismo de impulso ao processo produtivo, sendo, portanto, o ponto de convergência dos efeitos do sucesso ou insucesso das estratégias aplicadas na área da produção.

Conclui-se, deste modo, que estas categorias, ao serem representativas num sistema de produção, suportam o funcionamento do PCP, (Lázaro & Gremaud, 2015).

Segundo Coelho, 2010, o PCP é de extrema importância para o bom desempenho de um sistema produtivo, porque abrange duas tarefas fortemente relacionadas que permitirão definir, no tempo, os produtos a realizar nas quantidades necessárias e introduzir as correções necessárias ao sistema produtivo quando se verificarem desvios significativos do que foi planeado em relação ao que foi efetivamente produzido.

Um sistema PCP eficiente permite a obtenção de informação e permite também a gestão de forma eficiente dos fluxos de materiais, a utilização eficiente das pessoas e equipamentos, coordenação entre as atividades internas da organização com as dos seus fornecedores e também a comunicação com os seus clientes sobre as necessidades de mercado.

Em suma, um sistema PCP fornece um suporte aos gestores para estes levarem a cabo a tomada de decisão e gestão de operações.

As funções típicas de um sistema PCP são:

- Permitir o planeamento das necessidades dos recursos, da capacidade e da sua disponibilidade para satisfazer a procura;
- Permitir o planeamento da chegada de materiais antecipadamente e nas quantidades necessárias para a produção;
- Permitir a utilização dos equipamentos e instalações;
- Permitir a calendarização das atividades dos operadores e equipamentos para que estes operem corretamente;
- Permitir a comunicação entre a organização e os clientes/fornecedores;
- Permitir a satisfação dos clientes, encontrando resposta para as suas necessidades;
- Permitir o aumento da capacidade de resposta a problemas que possam eventualmente surgir;
- Permitir a aquisição de informação necessária para a realização de outras funções (físicas e financeiras)

Segundo (Da, Em, & Flow, 2005), os problemas geralmente também se tornam complexos pelo grande número de restrições relacionando uma atividade a outra, recursos a atividades, um recurso ao outro e um recurso ou atividade a eventos externos ao sistema. Alguns exemplos do exposto, são os seguintes:

- Paragem na produção por falta de material;
- Excesso de matéria-prima em stock;

- Excesso de produtos acabados em stock;
- Atrasos na entrega;
- Desperdícios.

### 3.3 Controlo da atividade de produção (CAP)

Através da recolha de dados relativos à produção, o PCP organiza esses dados para utilização nas decisões futuras de uma empresa. O controlo da atividade produtiva (CAP) é a última fase do PCP e define-se como o controlo e supervisão dos processos produtivos e tem a finalidade de monitorizar se todo o sistema atua conforme o planeado (Carmo, 2015). Neste mecanismo podem distinguir-se quatro fases:

1. Lançamento dos trabalhos;
2. Afetação ou distribuição/despacho de ordens de trabalho pelos centros de produção;
3. Sequenciamento dos trabalhos em cada centro;
4. Monitorização.

De uma forma mais detalhada, o lançamento corresponde à determinação das obras e ao momento em que elas são enviadas para as estações de trabalho, garantindo as condições de produção no sistema, nomeadamente os meios e programas de produção disponíveis. Em relação à afetação ou distribuição das ordens de trabalho, o objetivo é distribuir/afetar, em cada estação de trabalho existente, as obras lançadas na fabricação, a fim de satisfazer o programa de produção.

Posteriormente à afetação, define-se a ordem de execução de cada trabalho em fila a ser produzido: por sequenciamento ou por despacho. No sequenciamento, a sequência de produção do trabalho é executada para otimizar um critério de desempenho específico enquanto que no despacho, as obras são selecionadas e autorizadas para processamento, ficando sob controlo da disponibilidade de uma estação de trabalho.

Tanto o sequenciamento como o despacho têm objetivo a atingir, mas, no entanto, enfrentam diversas limitações, tais como:

- necessidade de se manter o perfil de carga estabelecido;
- garantia que os prazos de entrega definidos num programa sejam cumpridos;
- níveis elevados de utilização do sistema;
- custos totais de produção reduzidos;
- trabalhos em curso mínimos;



- tempos de espera reduzidos;
- datas de entrega cumpridas sem grandes antecipações.

Por fim, a monitorização da atividade produtiva serve como suporte para iniciar as funções de lançamento e despacho. Avalia se as metas definidas estão a ser refletidas e, se não estiverem, as medidas corretivas são aplicadas.

Diante do exposto, os sistemas de produção diferem e dependem do tipo de produção e procura, e por isso mesmo existem várias abordagens ao Controlo de Atividade Produtiva:

### ▪ Toyota Kanban System (TKS)

O Sistema Toyota Kanban (TKS) é um sistema de produção que visa a eliminação por completo de desperdícios. A premissa da TKS é que o material não será produzido ou movido até que exista algo ou alguém capaz de notificar essa necessidade. Para tal, existe o sistema *Kanban*. O sistema *Kanban* é um subsistema do TKS e é uma ferramenta que controla os níveis de espera no sistema de produção. Quando uma fila de espera atinge o seu nível máximo predefinido, existe uma ordem para parar a produção.

O fluxo de peças e Kanban são mostrados na Figura 26.

Existem dois tipos de Kanban: Kanban de transporte e Kanban de produção.

O Kanban de transporte é transportado ao passar de um processo para o outro enquanto que o Kanban de produção é usado para ordenar a produção do processo seguinte.

O resultado disto originou o método *Just-In-Time* (JIT) (Silva et al., 2017).

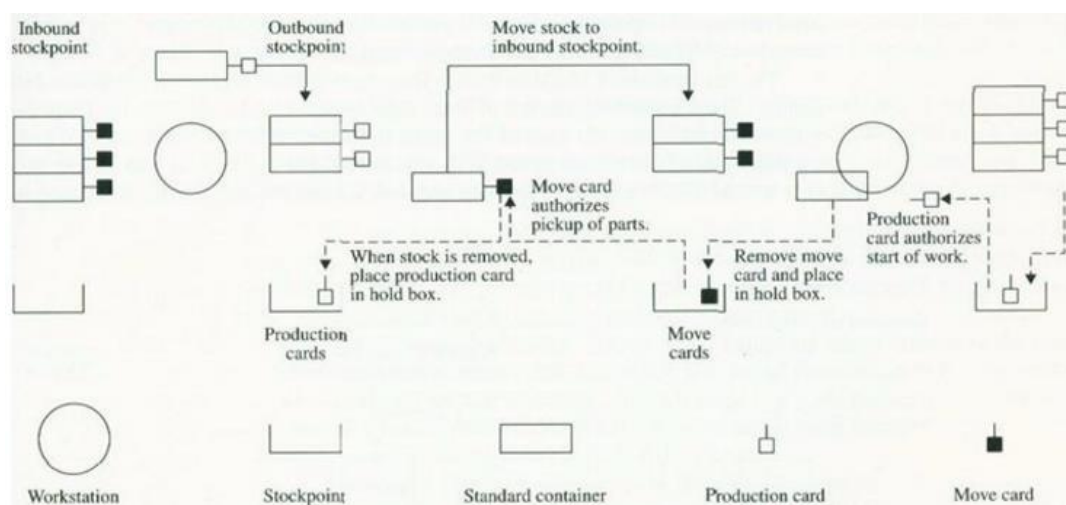


Figura 26. Sistema de 2 cartões da Toyota - TKS

- **Constant Work-in-process (CONWIP)**

O sistema de controlo CONWIP foi introduzido em 1990 como uma tentativa de apresentar um sistema *pull* mais flexível do que o TKS.

Num sistema *pull*, a produção é baseada na procura real, isto é, só existe produção se houver uma solicitação de um produto pelo cliente final – produção sob encomenda: “*make-to-order*”. Esta variante *pull* é conhecida pela sua facilidade de implementação. Na figura 27 podemos observar uma básica representação do sistema.

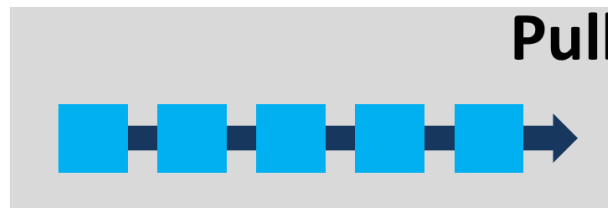


Figura 27: Sistema Pull - CONWIP

O mecanismo CONWIP pode também ser classificado como sistema *push*. Uma produção deste género produz sem ter um pedido de um cliente e denomina-se produção para stock: “*make-to-stock*”. Na figura 28 podemos observar como funciona o sistema.

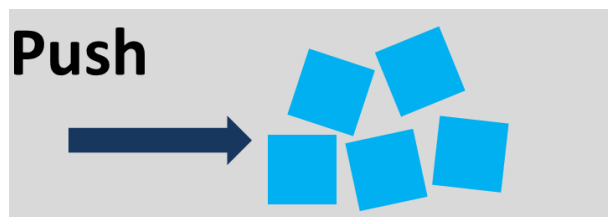


Figura 28: Sistema Push - CONWIP

O CONWIP pode ser aplicado em ambientes produtivos mais diversificados e em regra geral, é usado um sistema de cartões que estão ligados a um determinado trabalho, onde nenhum trabalho pode entrar no sistema sem o cartão associado (Framinan, González, & Ruiz-Usano, 2003).

- **Generic Kanban System (GKS)**

O Sistema Kanban é um sistema baseado em cartões de sinalização (Kanbans) que controla e fornece informação para a produção JIT da Toyota (Ghinato, 1995). Visa reduzir o nível de stock e reduzir os prazos de entrega de produção.

No entanto, o Sistema Kanban da Toyota não é aplicável a ambientes dinâmicos com procura e tempos de processamento variáveis. Um sistema *kanban* genérico (GKS) é proposto para ambientes de MTO (Make-To-Order). O GKS não tem todos os benefícios do TKS, no entanto, é adaptável porque tem

vantagens sobre outros sistemas de produção sob os mesmos ambientes dinâmicos. O GKS é usado para controlar o número de trabalhos (WIP) no sistema. Fornece um número fixo de *kanbans* em cada estação. Um trabalho não pode entrar no sistema para processamento, a menos que adquira todos os Kanbans em cada estação (figura 29). Depois do trabalho ser concluído numa estação, o *kanban* anexado é libertado e fica disponível para novo pedido (Silva et al., 2017).

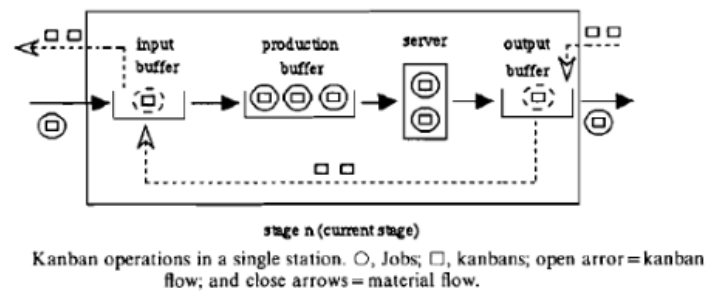


Figura 29. GKS para ambientes dinâmicos

#### ▪ Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization (POLCA)

Uma estratégia POLCA é um método eficaz para suportar a produção e o controle de materiais para empresas com produtos de muita variedade. POLCA é uma estratégia híbrida *push-pull* que combina os melhores recursos de sistemas de kanban e sistemas *push*. Ao mesmo tempo, o POLCA contorna as limitações dos sistemas *pull* em ambientes de grande variedade ou de produtos personalizados. Os cartões POLCA são usados apenas para controlar o movimento entre as estações e não dentro das estações. A figura 30 mostra os fluxos de cartões POLCA para uma ordem específica. O fluxo deste trabalho leva-o de P1 para F2, seguidamente para montagem (A4) e finalmente para S1 para envio (Silva et al., 2017)

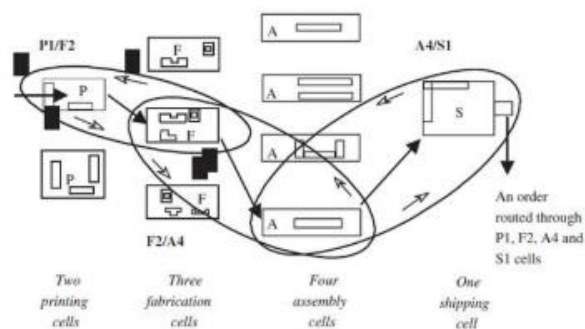


Figura 30. Fluxo de Cartões POLCA

### 3.3.1 Escalonamento da Produção

Segundo Varela, 2007, o escalonamento da produção, frequentemente também referido como programação da produção, visa a programação da execução de um conjunto de trabalhos num conjunto de unidades de produção, durante um determinado intervalo de tempo. Primeiro é necessário descrever o problema e identificá-lo. Depois, é necessário encontrar um método eficiente apropriado à sua resolução e usá-lo para resolver o problema, disponibilizando os dados necessários e tratando os resultados de forma conveniente. Muitas vezes as pessoas envolvidas na resolução de problemas de escalonamento não conhecem os métodos ou não sabem como ter acesso a eles, ou mesmo não sabem como formalmente identificar o problema numa classe.

O escalonamento pode ser visto como uma ferramenta para modelação e resolução de muitos problemas da vida real. Só é válido se obedecer às restrições do problema e tem como objetivo minimizar algum critério de otimização.

Pode-se dividir os algoritmos de escalonamento em dois grandes grupos: Os de distribuição estática e os de distribuição dinâmica.

Os estáticos tratam do problema de distribuir equitativamente as ordens de trabalho a serem processadas antes do início do processo. Quanto aos dinâmicos, tratam do problema de balanceamento de carga, ou seja, procuram ajustar as oscilações de carga de processamento durante a execução de processos, com a finalidade de todos os recursos terem as suas potencialidades exploradas ao máximo. Além disso, o escalonamento pode ser visto a vários níveis hierárquicos no que diz respeito à tomada de decisão, pode ir desde estratégico ao operacional, passando pelo tático. Neste trabalho, o escalonamento é equacionado na ótica do escalonamento do espaço fabril e, principalmente, na ótica que envolve a afetação, o despacho e o sequenciamento.

Em suma, e para um verdadeiro entendimento da complexidade e extensão do problema de escalonamento, é importante conhecer e caracterizar, nos aspetos relevantes ao escalonamento:

- Os trabalhos ou tarefas;
- As estações de trabalho;
- Recursos;
- Os ambientes de escalonamento e de produção;
- Os critérios de otimização.
- E ainda saber como é que estes elementos se relacionam e contribuem para execução de um conjunto de trabalhos, cada um dos quais sujeito a um plano operatório (Carmo, 2015).

### 3.3.2 Heurísticas e Regras de Despacho

Os métodos heurísticos ou simplesmente heurísticas são métodos que possuem grandes vantagens como serem intuitivos, de implementação fácil e não requerendo, geralmente, grande esforço computacional para a resolução dos problemas (Baker, K. R., & Baker, K. R. (1974)).

As heurísticas tendem a ser procedimentos genéricos facilmente adaptáveis a uma grande variedade de problemas de escalonamento. Além disso, permitem, por vezes, obter soluções muito próximas da solução ótima, com base num número reduzido de iterações. Todos os métodos a seguir apresentados, embora não garantam uma solução ótima, visam encontrar soluções razoavelmente boas em tempo relativamente curto e útil, para a resolução dos problemas.

Regras de despacho são regras que estabelecem a prioridade com que serão processadas as entidades em fila de espera para serem processadas numa máquina com base num determinado parâmetro de modo a estabelecer prioridades nos trabalhos. O esquema de prioridade pode estar relacionado com atributos das entidades, atributos das máquinas, ou também relacionado com o tempo atual. Estas regras têm em vista atingir um determinado objetivo, expresso através de um determinado critério de otimização para o problema em causa. O número de regras de prioridades existentes é enorme e é de pelo menos várias centenas e não é necessário cobrir a maior parte delas. Estas regras podem ser simples ou combinadas, locais ou globais e estáticas ou dinâmicas.

Nas regras locais a prioridade de afetação de um trabalho ou lote a um determinado processador é dependente, somente, da informação ou dados dos trabalhos na fila do processador em questão.

Exemplos de regras locais são:

- **Menor tempo de processamento - Shortest Processing Time (SPT)** - prioriza trabalhos na ordem crescente de seus tempos de produção. Lida com tarefas mais curtas primeiro permite minimizar o tempo de conclusão e o número de trabalhos no sistema. Além disso, esta regra tem pontos fortes na maximização da utilização da máquina, evitando o congestionamento de uma máquina, com um trabalho de longa duração. Como o SPT não considera informações sobre datas de entrega, ele não é tão benéfico quando os critérios de desempenho baseados em atraso são usados (Pinedo, 2012).
- **Maior tempo de processamento - Longest Processing Time (LPT)** é o oposto do SPT, dá prioridade aos trabalhos com maior tempo de processamento. Essa técnica funciona particularmente bem na redução do *makespan* (é o tempo que decorre desde o início do trabalho

até o fim) de estações paralelos. Deixar os trabalhos mais curtos até o final do cronograma, permite balancear as cargas nas diversas máquinas (Williamson & Shmoys, 2011).

- **Por ordem de chegada - Earliest Release Date (ERD)** sequencia os trabalhos pela sua hora de chegada. A sequência criada tenta minimizar e equalizar os tempos de espera dos trabalhos (Pinedo, 2012). Embora esta regra não considere as datas de entrega (o fator trabalho urgente não pode ser aplicado no sistema) pode ser viável quando se lida com a lista de clientes. Esta regra é equivalente à regra FIFO (First In First Out).
- **LWKR – Least Work Remaining**, dá prioridade ao trabalho cujo tempo total de processamento das operações por executar seja o menor.
- **MWKR – Most Work Remaining**, seleciona a operação associada ao trabalho que tem maior tempo de processamento a ser executado em operações a efetuar.
- **RANDOM**, seleciona trabalhos aleatoriamente. Esta regra é frequentemente usada como referência para outras regras.

### 3.3.3 Afetação, Sequenciamento e Calendarização da Produção

O problema da afetação tem o objetivo de determinar em que estação de trabalho, entre vários disponíveis e possíveis, se vai realizar cada uma das operações ou fases de produção do trabalho.

O problema de sequenciamento consiste, essencialmente, em encontrar a ordem pela qual os trabalhos, ou lotes, devem ser processados em cada processador do sistema de produção. Nas regras de sequenciamento globais a prioridade é definida usando, além da informação local, a informação relativa a outros processadores.

Exemplos de regras globais:

- **AWINQ – “Anticipated Work In the Next Queue”**, em que é dada prioridade à operação cuja operação que se lhe segue (do mesmo lote) será executada no processador onde o tempo total de processamento dos trabalhos à espera é mínimo. A lógica é não dar prioridade a um trabalho num processador que não pode ter andamento posterior, no processador seguinte, por estar sobrecarregada. Esta regra pressupõe que existe apenas um processador para realizar a operação seguinte do trabalho em causa.
- **FOFO – First Off First On**, em que é dada prioridade ao trabalho cuja operação possa ser concluída mais rapidamente. Se o trabalho não estiver na fila, o processador espera, parado, até que o trabalho chegue à fila para ser executada a operação.

Como dito anteriormente, estas regras podem ser simples ou combinadas, locais ou globais e ainda **estáticas** ou **dinâmicas**.

Nas regras estáticas a prioridade de afetação relativa dos trabalhos no sistema não varia no tempo.

Exemplos de regras estáticas são:

- **FCFS (global) – First Come/First Served**, em que é dada prioridade, ao trabalho que chega primeiro ao sistema.
- **TWORK – Total WORK**, em que a prioridade é dada ao trabalho cujo tempo total de processamento, de todas as operações, seja o menor.
- **EDD – Earlist Due Date**, que dá prioridade ao trabalho com menor data de entrega.

Nas regras dinâmicas a prioridade de afetação relativa dos trabalhos no sistema varia ao longo do tempo.

Exemplos típicos destas regras são (Silva, 2006):

- **S/OPN – Slack per OPeration**, em que a prioridade é dada ao trabalho que tiver o menor quociente do Slack Time pelo número de operações que faltam processar. Slack Time é o tempo que sobra para a data de entrega, depois de subtrair o tempo de processamento das operações ainda não processadas.

#### 3.3.4 Características de problemas de Escalonamento de produção

Os problemas de escalonamento têm, de uma forma geral, como objetivo a definição dos instantes temporais em que um conjunto de tarefas são processadas por um conjunto de recursos de forma a minimizar uma medida tipicamente relacionada com o tempo. Este tipo de problemas tem sido estudado desde há largas décadas (Brucker, 2007). Uma das áreas onde este tipo de problemas tem mais aplicação é no planeamento da produção. (Filipe & Loureiro, 2014)

Neste trabalho é utilizada a nomenclatura de Pinedo (2012), que divide os problemas de escalonamento da produção em três:  $\alpha$  |  $\beta$  |  $\gamma$ , onde  $\alpha$  descreve os tipos de configuração do sistema,  $\beta$  descreve as restrições do processo e  $\gamma$  descreve as medidas de desempenho produtivas.

##### 1. Medidas de Desempenho ( $\gamma$ )

A solução de um problema de escalonamento tem relação direta ou indireta com variáveis como os prazos de entrega da produção, a quantidade de trabalhos em curso, a utilização dos equipamentos, entre outros. Encontrar um bom critério de otimização, que traduza o objetivo a atingir, pode ser uma

tarefa difícil no escalonamento. Muitas vezes a melhoria de um critério traduz-se na perda de eficiência por parte de outro critério. Assim para selecionar o critério de otimização é necessário conhecer o objetivo do problema de escalonamento. Para  $\gamma$  são possíveis variadas hipóteses, de entre as quais se destacam as seguintes apresentadas:

- Tempo de percurso médio =  $Fmed = \bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Fi$

Esta medida de desempenho calcula o tempo que uma ordem de produção leva até ser concluída. De outro modo, abrange todo o processo, desde o momento em que a ordem é inserida no sistema até ao momento em que é recebida pelo cliente, se for o caso.

- Tempo de percurso máximo =  $Fmax = \max_{1 \leq i \leq n} \{Fi\}$

Associado ao tempo de percurso médio temos ainda o tempo de percurso máximo, que nos indica o tempo máximo que o trabalho pode estar no sistema.

- Atraso médio =  $Amed = \bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ai$

O tempo médio de atraso dos produtos é uma medida essencial para medir a eficiência produtiva e o impacto dessa atividade com o lucro da empresa. O objetivo desta medida é compreender o tempo de atraso que a empresa pratica. É igual à diferença entre a data de conclusão da entidade e a data de entrega prevista.

- Número de entidades atrasadas =  $Na = \sum_{i=1}^n \partial(Ai)$

Diz respeito ao número de ordens produtivas que não cumpriu com o tempo estipulado pela empresa.

$$\text{onde } \partial(x) = 1 \text{ se } x > 0 \\ \text{e } \partial(x) = 0 \text{ caso contrário}$$

## 2. Configuração do Sistema Produtivo ( $\alpha$ )

A maioria dos sistemas de produção tem diferentes configurações mas que se podem dividir em categorias, nomeadamente, as oficinas de produção, as linhas de produção e as células de produção (Alves, 1999) e estes tipos de configurações que os sistemas de produção podem assumir podem ser expressos através de uma variável  $\alpha$  (Pinedo, 2012), que pode assumir diferentes valores, conforme o sistema de produção considerado em cada problema, conforme se descreve abaixo:

- **Oficinas de produção – (*job shop*)**, este tipo de sistema é usado na maioria dos países, nas pequenas empresas e a organização neste tipo de sistema de produção é feita tendo em conta



o processo a realizar, dispondo assim, cada oficina de equipamentos funções semelhantes. Este tipo de sistema é geralmente usado em situações em que há uma grande variação de produtos, exigindo recursos com algum grau de flexibilidade suficiente para executar uma ampla variedade de tarefas e nem sempre com a mesma sequência de operações. Apesar da flexibilidade que proporciona à produção, esse tipo de produção tem a desvantagem de ter um grande número de trabalhos em andamento, bem como tempos de preparação que podem ser altos.

- **Linhas de produção – (*flow shop*)**, são sistemas de produção mais usados pelas empresas e possuem dois ou mais processadores em que as operações de cada trabalho são executadas em sequência, desde a primeira à última, correspondendo a cada operação um processador. Este tipo de implantação permite geralmente uma elevada produtividade e elevada taxa de produção, com baixos custos, porém não confere grande flexibilidade de produção de outros produtos além dos implementados. (Pinedo, 2012)
- **Células de produção – (*manufacturing cell*)**, este sistema, em linha ou em U, é diferente do sistema tradicional de manufatura funcional, no qual todas as máquinas similares são agrupadas. O uso de secções de produção melhora o fluxo de materiais e é especialmente adequado para a produção de lotes, mesmo quando a quantidade de volumes é baixa. Para além disso, muitas vezes os recursos alternam-se entre diferentes tarefas o que exige que se tenha em particular atenção aos tempos de preparação. Para isso utiliza-se muitas vezes técnicas de SMED e OTED para a redução dos mesmos.

### 3. Características dos Trabalhos e dos Recursos ( $\beta$ )

Outro parâmetro que interfere na diversidade e complexidade de resolução dos problemas de escalonamento são as restrições do processo. Segundo Pinedo (2012), para  $\beta$  são possíveis as seguintes características:

- **Data de Lançamento** - Representa que a tarefa ( $j$ ) não pode iniciar o seu processamento antes da sua data de lançamento ( $n$ ). Se não existir esta restrição em  $\beta$ , então todas as tarefas podem começar a ser executadas imediatamente, assim que chegam ao sistema de produção.
- **Interrupções** - Representa a possibilidade de interrupção durante o processamento de uma tarefa antes desta estar concluída. O trabalho interrompido não é perdido, permitindo a sua conclusão posteriormente.
- **Tempos de Setup dependentes da Sequência** - Representa a sequência de tempos de preparação entre o processamento dos trabalhos.

- **Família de Tarefas** - Representa a existência de diversas famílias de tarefas e dentro de cada uma, as tarefas podem ter tempos de processamento diferentes, mas não necessitam de tempo de preparação entre a execução das mesmas.
- **Produção por Lote** – É quando existe a possibilidade de uma máquina executar mais que uma tarefa simultaneamente. Assim a máquina pode executar  $b$  tarefas. Os tempos de processamento dos trabalhos num lote podem não ser todos iguais, o que significa que o tempo de conclusão de todo o lote é determinado pelo trabalho com o maior tempo de processamento.
- **Permutações** - Representa a impossibilidade de alterar a sequência de tarefas após execução na primeira máquina, de acordo com o método FIFO. Este tipo de restrição pode existir em configurações do tipo *flow shops*.
- **Sem Espera** – Pode acontecer na *flow shops*. É onde existe a proibição de esperas entre duas máquinas. Isto implica que uma tarefa apenas pode começar a ser executada, quando estiverem reunidas as condições para poder circular através da linha sem qualquer tempo de espera.
- **Recirculação** - A recirculação pode ocorrer numa *job shop* ou *flow shop* quando existe a possibilidade de uma tarefa poder visitar uma máquina mais do que uma vez.

Para além destes exemplos, existem outras restrições específicas para estes sistemas.

Sendo assim, para caracterizar  $\beta$  é necessário conhecer bem as especificidades do problema de escalonamento a ser tratado. Contrariamente a  $\alpha$ , o campo  $\beta$  pode estar sujeito a mais do que uma restrição e neste caso contém mais do que uma variável.

### 3.4 Modelação e Simulação

A base de qualquer abordagem científica, é a elaboração de modelos. Modelos de investigação operacional consistem, de acordo com Arenales et al. (2007) e Winston (2004), numa formulação matemática que procura retratar da melhor forma possível uma situação real, seja com o intuito de tomar melhores decisões ou até mesmo de apenas compreender melhor tal situação.

Após a elaboração do modelo matemático, este deve ser então resolvido para que se obtenham dados preliminares, os quais são essenciais na validação do modelo, etapa em que tais dados são analisados para se verificar o grau de aderência do modelo com o problema real e, consequentemente, decidir se o modelo pode ou não ser utilizado para um eventual processo de tomada de decisões.

Um modelo de investigação operacional é composto de algumas partes essenciais. De seguida, é dada uma breve descrição de cada uma dessas partes.

- **Variáveis de decisão:** são as características do sistema que estão sob controle e que influenciam o desempenho do sistema em análise. São também os valores que se deseja obter a partir da resolução do modelo matemático.
- **Parâmetros:** São os dados de entrada do problema, ou seja, características do modelo para as quais os valores já foram anteriormente conhecidos.
- **Função objetivo:** É uma expressão matemática que representa o objetivo a alcançar ao resolver um determinado modelo matemático. Normalmente assume o formato de uma maximização (Exemplo: lucros ou quantidade produzida) ou uma minimização (Exemplo: custos ou recursos) para que se obtenha a melhor solução possível para o problema.
- **Restrições:** São as condições envolvidas ao problema, são os valores possíveis que as variáveis de decisão podem assumir (no mínimo ou no máximo).
- **Domínio das variáveis:** Representa o conjunto de números ao qual as variáveis de decisão devem pertencer, como por exemplo, o conjunto dos números reais ou inteiros.

A possibilidade de existência de diferentes domínios de variáveis e diferentes relacionamentos entre elas faz com que haja diversos tipos de modelos matemáticos.

Através da aplicação da simulação em modelos matemáticos podemos antecipar o comportamento de um sistema real.

A simulação de modelos permite ao observador realizar estudos sobre os sistemas em questão para responder a questões do tipo “O que aconteceria se?”.

O conceito de simulação, segundo Banks (1998), é o ato de criar uma imitação de um processo ou sistema do mundo real. O mesmo autor afirma que a simulação envolve a produção de uma história artificial do sistema e a observação dessa mesma história, para se conseguir representar de forma fiel o sistema real. Para este autor, existem três diferentes dimensões dos sistemas de simulação:

- **Estático versus Dinâmico:** o que as distingue é o tempo. O tempo é importante para os modelos dinâmicos, mas não é importante para os modelos estáticos.
- **Contínuo versus Discreto:** num modelo contínuo o estado do sistema pode ser alterado continuamente ao longo do tempo; pelo contrário, num modelo discreto apenas pode ser alterado em pontos separados do tempo. Podem ainda existir modelos mistos.
- **Determinístico versus Estocástico:** no modelo determinístico as ações determinam os seus outputs, enquanto que no modelo estocástico é quando há aleatoriedade e o resultado final é imprevisível.

Em termos históricos, podemos começar por situar-nos nos anos 50 e 60 para explicar que nesses anos a simulação era uma ferramenta dispendiosa e exigia uma grande especialização. Nos ‘Primeiros anos’ apenas se observava a utilização da simulação em empresas com o capital necessário para investir neste tipo de ferramenta. As principais empresas que utilizavam simulação eram as aeroespaciais e as que trabalhavam na área do aço (Kelton, 2015). Passando para o período entre os anos 70 até aos inícios dos anos 80 (os mesmos autores chamam a esses anos *Formative Years* (em português ‘Anos de Formação’)), a utilização da simulação por diversas empresas começou a ser maior. Isto deveu-se sobretudo à melhoria dos computadores, que se tornaram mais rápidos. Apesar da sua utilização começar a ser mais comum, eram ainda as maiores empresas que utilizavam esta ferramenta. No final dos anos 80 a aceitação dos sistemas de simulação começou a ser global, estabelecendo-se no mundo empresarial. Isto deveu-se à generalização do computador pessoal. A partir desta altura, a simulação começou a ser utilizada proativamente, ao invés de ser usada apenas para deteção de erros. A partir dos anos 90, a tecnologia envolvida na simulação começou a maturar. As empresas mais pequenas começaram a dispor, com facilidade, da simulação e foi aceite pela maioria dos gestores como uma ferramenta eficiente e vantajosa para a empresa.

De seguida, são indicados os elementos necessários para realizar uma simulação com eventos discretos, que, segundo (Paredis & Johnson, 2008), é o tipo de simulação mais utilizado. Independentemente do quão complexo um sistema possa ser, regra geral estes são os elementos usados:

- **Entidades:** são as causadoras de alterações no modelo. Sem as entidades nada aconteceria no modelo. Cada entidade tem atributos (características) únicos que são cruciais para a performance do sistema.
- **Atividades e Eventos:** as atividades são os processos e a lógica do sistema, enquanto que os eventos são acontecimentos relativos a um momento temporal específico, que provoca alterações no estado do sistema. De forma resumida, as entidades interagem com as atividades e dessa interatividade nascem os eventos. As atividades podem ser de três tipos. As ‘Atividades de Atraso’ (*Delay Activities*) são utilizadas para atrasar as entidades durante um período de tempo definido. As ‘Atividades de Fila’ (*Queues Activities*) são pontos no modelo onde as entidades esperam um determinado período. As ‘Atividades de Lógica’ (*Logic Activities*) permitem dar permissão às entidades para alterarem o estado do sistema através da manipulação das ‘Variáveis de Estado do Sistema’ ou da lógica de decisão.

- **Recursos:** engloba tudo o que tenha capacidade restrita; são bons exemplos disto, trabalhadores e máquinas.
- **Variáveis Globais:** é uma variável que está disponível para todo o sistema em qualquer altura.
- **Gerador de Números Aleatórios:** é um software que gera um número aleatório entre 0 e 1; esse número é utilizado em amostragens de distribuições aleatórias.
- **Calendário:** é uma lista de eventos que ocorre segundo uma sequência determinada.
- **Variáveis de Estado do Sistema:** dependendo do tipo de pack de simulação podem existir diferentes tipos de 'Variáveis de Estado do Sistema'. A variável que todos os packs de simulação têm é o tempo atual da simulação.
- **Coletores de Estatística:** são a parte do sistema de simulação que recolhe estatística sobre certos estados (estado dos recursos, por exemplo), sobre o valor global das variáveis e a performance de algumas entidades. Existem três tipos de 'Coletores de Estatística': do tipo Contar (*Counts*), que como o nome indica serve para contar, do tipo Temporal (*Time-persistent*), que oferece dados baseados em valores temporais a diferentes variáveis do sistema e do tipo Contagem (*Tally*) que pode recolher uma observação de cada vez sem considera o tempo entre observações.

### 3.4.1 *Routing Group*

Dentro da simulação podemos incluir diferentes regras na elaboração do modelo. Uma das possibilidades a utilizar é o *Routing Group*. O *Routing Group* é uma regra do Simio que permite afetar uma entidade a uma estação de trabalho (*workstation*), ou seja, é usado para rotear um objeto de entidade para um destino selecionado numa lista de nós. (Simio LLC, 2018).

Por definição, para cada nó de destino numa lista de nós do *Routing Group* que seja um nó 'Entrada' numa *workstation* associada, o *Routing Group* automaticamente está atento a alterações de entidades que entram ou saem ou ainda alteração da sua capacidade e, em seguida, faz uma seleção através do *RouteRequestQueue*. No entanto, pode haver situações de modelação em que apenas estar atento às alterações na *workstation* nos nós de "Entrada" não é suficiente para acionar eventos do *Routing Group* de modo a abranger todos os cenários possíveis. Nesses casos, é necessário então definir com base num evento de sistema *upstream* condicional.

Posto isto, vamos conhecer algumas das propriedades do *Routing Group*:

- **Node List Name (Nome da lista de nós):** Pode ser uma lista de nós ou uma referência a uma tabela;

- **Evaluate Route Requests Triggers (Disparadores de solicitações de rota):** Os “disparadores” acionados por um evento agendarão um estudo imediato da fila de pedidos no *Routing Group*, para atribuir um destino disponível;
- **Route Request Ranking Rule (Regra de classificação de solicitação de rota):** É uma regra estática usada para classificar as solicitações de rota concorrentes para esse grupo de roteamento.
- **Route Request Ranking Expression (Expressão de classificação de solicitação de rota):** É a expressão usada com as regras de despacho “Smallest Value First” ou “Largest Value First”

## 4. CASO INDUSTRIAL

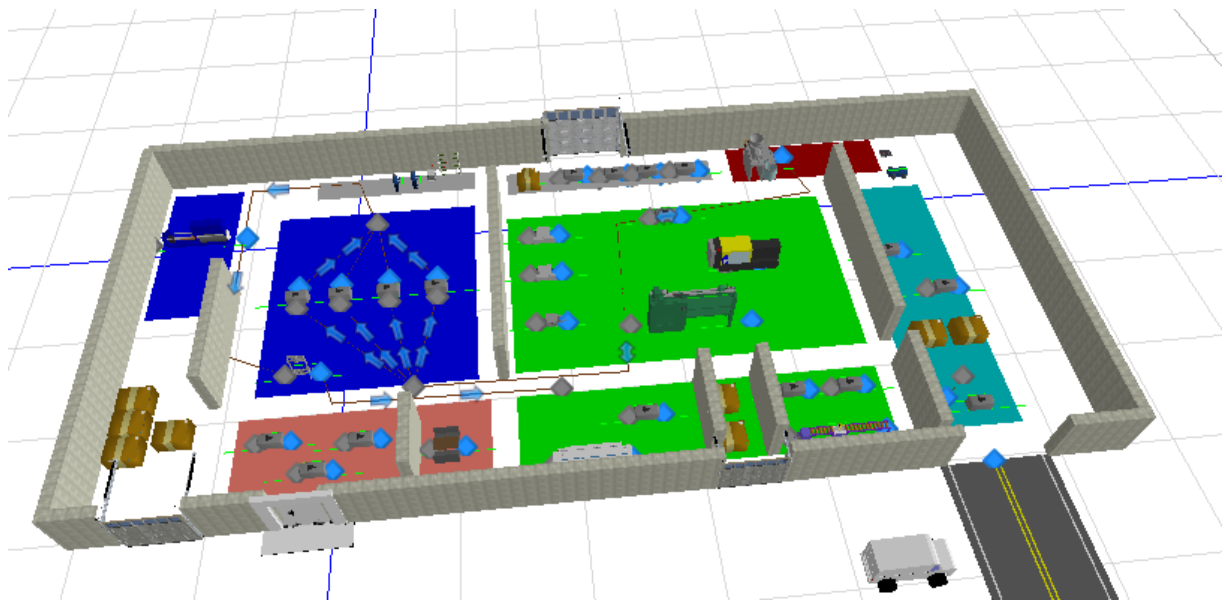
Neste capítulo serão descritas, analisadas e testadas alterações que podem ser efetuadas ao sistema produtivo da secção de impressão da empresa. Estas alterações centram-se na elaboração de planos de produção, instruções de trabalho, balanceamento de linhas e medição do desempenho de cada posto e, individualmente, do desempenho de cada colaborador.

Por isto, é realizada uma modelação em SIMIO (figura 31) e são comparados os resultados obtidos com a situação real. Inicialmente apresenta-se o modelo, as propriedades, os processos e as experiências realizadas. Após a simulação, é efetuada uma análise de resultados.

Este estudo começou pela definição de objetivos a atingir:

- Melhorar o escalonamento da produção;
- Minimizar dos tempos totais de produção;
- Reduzir os prazos de entrega.

Para atingir os 3 objetivos apresentados, vão ser testados e comparados vários mecanismos de produção de modo a encontrar um método mais eficaz para a empresa.



*Figura 31. Representação do Layout da Empresa (Em SIMIO<sub>ni</sub>)*

Este modelo foi desenvolvido num software de simulação, mais concretamente, o SIMIO<sup>TM</sup>.

## 4.1 Problema Inicial

Como podemos observar, a Norprint possui diferentes áreas que se conectam entre si.

No caso concreto, e após análise de todo o ambiente produtivo, notou-se que os tempos previstos para terminar a atividade de impressão eram demasiado elevados, ou seja, tinham uma percentagem de produtos finalizados no tempo previsto a rondar os 35%, em média.

Assim, o problema inicial centra-se em diminuir os tempos totais de produção e consequentemente prazos de entrega.

## 4.2 Dados

Antes da elaboração do modelo, foi preciso proceder à observação dos procedimentos de produção da secção de impressão, e posteriormente foi necessário recolher os dados pertinentes para a elaboração do modelo.

Os dados recolhidos foram:

- Tempos de preparação (divididos do mesmo modo que estão representados na figura 22);
- Diferentes tipos de *setups*;
- Tempos de Produção;
- Escalonamento das Ordens de Produção;
- Qualidade do trabalho;
- Quantidade final de livros produzidos.

A recolha de dados é uma fase muito importante na elaboração do modelo. Apenas depois desta fase é que é possível definir bem o modelo, com todas as variáveis de decisão, entidades e restrições.

Relembrando o que foi descrito por (Pinedo, 2012), quanto à sua variável  $\alpha$ , o sistema de produção em questão trata-se de uma oficina de produção (*flexible job shop*), devido à vasta variedade de produtos, e à necessidade de um grau elevado de flexibilidade.

Quanto à variável  $\beta$  (as restrições do processo produtivo) podemos identificar várias:

- Interrupções
- Tempos de SETUP dependentes de sequência
- Recirculação.

Por fim, e relativamente à variável  $\gamma$ , existe uma medida de desempenho crucial, que é o cumprimento dos prazos de entrega.



Posto isto, procedeu-se à recolha de dados.

Os tempos de preparação assim como os diferentes géneros de *setups*, podem ser observados na tabela 2:

*Tabela 2: Classes de tempos de preparação*

Classe		Descrição	Tempo(h) (Troca de Chapas = 0.17h) (Refill = o resto)
A	1	Uma Cor (Preta)	0,25
B	2	Uma Cor (Preta) + Verniz	0,28
C	3	Pantone*	0,83
D	4	Pantone + Verniz	0,87
E	5	4 Cores (CMYK)	0,25
F	6	4 Cores + 1 Verniz	0,28
G	7	4 Cores + 1 Pantone	0,83
H	8	4 Cores + 1 Pantone + Verniz	0,87

\*Pantone: É uma escala/tabela de cor que mostra diversas cores com uma numeração específica que serve como uma referência exata para o impressor e dessa forma conseguir uma cor pura, sem variação de tonalidade

Posto isto, verificou-se que a empresa pode ter mais do que 8 variações de produto. A ideia geral é incorporar todos os aspetos envolventes na zona de impressão e ver quantas combinações de produtos poderiam passar por esta secção.

Então, introduziu-se os seguintes parâmetros (tabela 3):

- Se vai à Guilhotina ou não;
- Quantidade de livros produzidos;
  - Média – 500 páginas;
  - Grande – 1500 páginas;
- Qualidade dos produtos:
  - Média – tempo de processo normal;
  - Grande – processo elaborado de modo mais cuidado, acrescenta 50% ao tempo de processo normal.

Tabela 3. Combinações possíveis de produtos

Com Guilhotina				Sem Guilhotina			
Quantidade				Quantidade			
Média	Grande	Média	Grande	Média	Grande	Média	Grande
AMS	AGS	AMN	AGN	AMSA	AGSA	AMNA	AGNA
BMS	BGS	BMN	BGN	BMSA	BGSA	BMNA	BGNA
CMS	CGS	CMN	CGN	CMSA	CGSA	CMNA	CGNA
DMS	DGS	DMN	DGN	DMSA	DGSA	DMNA	DGNA
EMS	EGS	EMN	EGN	EMSA	EGSA	EMNA	EGNA
FMS	FGS	FMN	FGN	FMSA	FGSA	FMNA	FGNA
GMS	GGS	GMN	GGN	GMSA	GGSA	GMNA	GGNA
HMS	HGS	HMN	HGN	HMSA	HGSA	HMNA	HGNA
Qualidade Média				Qualidade Alta			
64 combinações							

Assim, e como pode ser verificado na Tabela 4, obteve-se 64 combinações possíveis de produtos que podem passar pela secção de impressão.

Quanto aos tempos de produção, podem ser consultados no Anexo 1, e contêm o tempo total de produção, desde a troca das chapas até acabar a impressão, ou seja, engloba os tempos de preparação, a prova de cor e o tempo que a obra demora a ser impressa.

Por fim, é importante salientar as regras de despacho utilizadas pela Norprint. Aquando da chegada das ordens de produção, a empresa sequencia os trabalhos pela sua hora de chegada. Esta regra é equivalente à regra FIFO (*First In First Out*) ou ERD (*Earliest Release Date*).

#### Outros pressupostos necessários para o modelo:

- Os dados usados foram todos recolhidos na empresa, durante o período do estágio curricular.
- Só existe mudança de *setup* quando a classe de famílias é diferente. No entanto, é preciso considerar sempre o tempo de mudança de chapas, que é obrigatório para todas as obras, sejam elas de classe igual ou não. Neste caso, há sempre, e no mínimo, 10 minutos entre cada obra.
- Os casos: Caso Real 1 e Caso Real 2, analisados e modelados no ponto 5, representam dois dias de trabalho na Norprint. O primeiro caso, nos dias 3 e 4 de abril de 2018 e o segundo caso nos dias 24 e 25 de maio de 2018.
- Também nos casos reais, quanto às datas de lançamento (*Release Date*) das obras, é no tempo zero. As obras a serem produzidas já estão definidas no dia anterior, portanto, ficam em fila de espera logo que começa o turno de trabalho.

### 4.3 Modelo de Simulação

Para responder aos objetivos mencionados, foram desenvolvidos vários modelos de simulação utilizando o software SIMIO™, mas todos representando o sistema produtivo da Norprint - *Flexible Job Shop*.

Os vários modelos permitem testar o comportamento do sistema de produção da empresa quando se alteram as principais variáveis.

Decidiu-se então modelar no SIMIO™ a sequência que os trabalhos a serem impressos realizam desde o momento em que entram no sistema até que são transferidos para a secção de acabamentos.

Iniciando agora a descrição do modelo, optou-se por utilizar uma modelação básica, apenas com as Entidades (**ModelEntity**), uma entrada (**Source1**), 4 estações de produção (“*workstations*”) (**KBA\_1**, **2**, **3** e **4**) e uma saída (**Sink1**). Esta descrição representa também o fluxo de materiais do modelo. Para além desta informação, é preciso salientar que todos os objetos estão interligados entre si através de “*Connectors*” (consiste numa ligação entre dois objetos onde a distância temporal é igual a zero).

Os diversos indicadores de produção dos trabalhos, para a configuração acima descrita, foram implementados no software SIMIO™.

A figura 32 ilustra o modelo, elaborado em SIMIO™, sendo que será explicado detalhadamente, cada fase, de seguida.

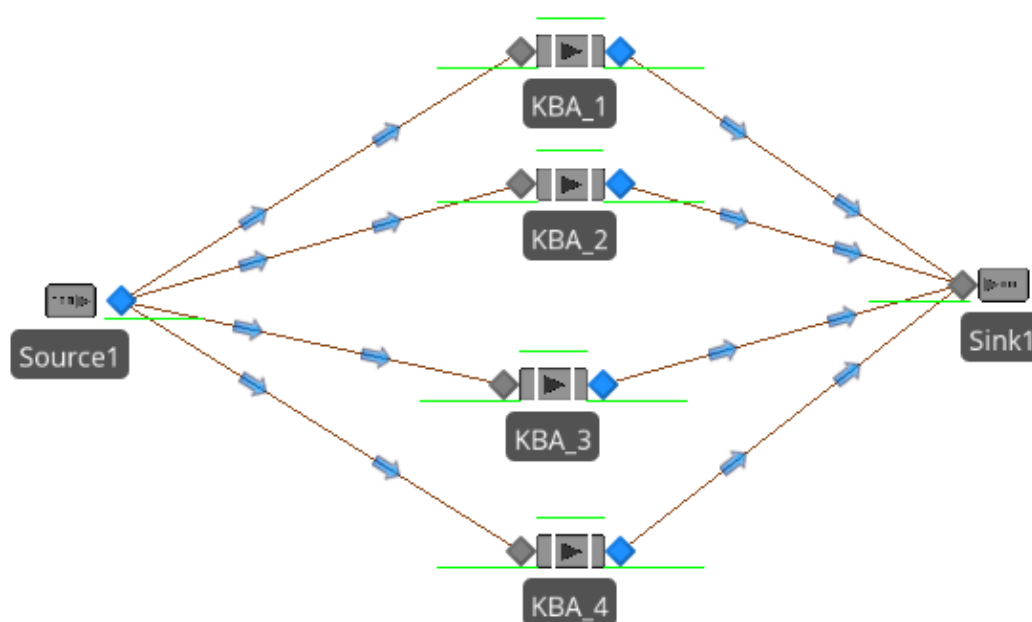


Figura 32. Ambiente produtivo da Norprint modelado no software SIMIO™

As entidades, neste caso, são as ordens de produção. Estas ordens foram importadas diretamente de um ficheiro Excel, que contém toda a informação pertinente.

Depois do lançamento dos trabalhos a serem efetuados, as ordens serão alocadas em cada *workstation*, consoante as regras aplicadas. A figura 33 ilustra esta fase inicial, onde se pode verificar a entrada de encomendas, distribuídas de igual forma para cada centro de trabalho.

A próxima entidade será alocada na *workstation* KBA\_4.

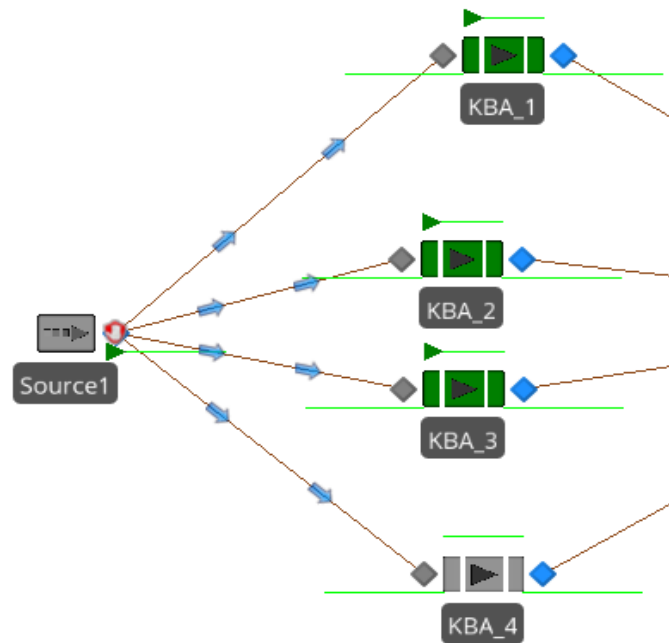


Figura 33. Fase Inicial

Quando as ordens de trabalho entram nas estações de trabalho para qual foram alocadas, são processadas de acordo com a realidade da empresa: passam pela preparação e seguidamente pela impressão. As propriedades de cada workstation no SIMIO™, são as seguintes apresentadas na figura 34:

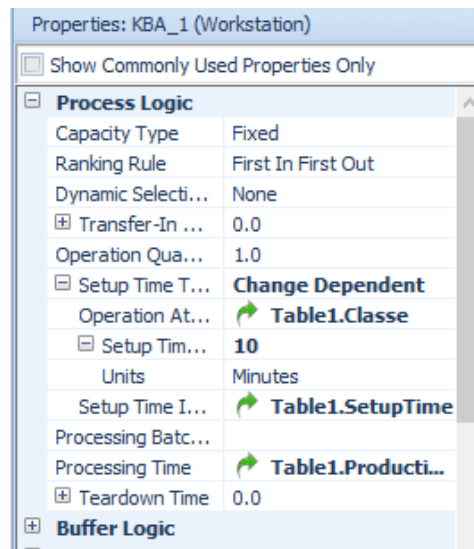


Figura 34. Propriedades de cada estação de trabalho

Neste caso concreto é importante salientar que as *workstations* deste problema são compostas por duas fases: *Setup Time* e *Processing Time*, como pode ser analisado na figura 33.

A programação representada na figura 33, permite processar a ordem de trabalho de acordo com o fluxo da empresa. É preciso preparar cada trabalho de forma diferente, logo, muitas vezes, tem tempos de preparação diferentes, e por isso mesmo na opção "*Setup Time Type*" estar selecionado "*Change Dependent*" (muda de forma dependente, sujeita a uma condição).

Posto isto, segue uma simples condição, se a classe do produto for igual à classe do trabalho anterior, então o tempo de preparação é apenas 10 minutos, que é precisamente o tempo de os colaboradores alterarem as chapas das torres das *workstations*. Caso a classe do trabalho não seja igual à anterior o tempo de preparação a ser considerado é o tempo estipulado na tabela 14 do Anexo I.

Assim que termina o processo produtivo, as entidades são transferidas até ao *Sink1*, representando que a sua atividade na secção de impressão terminou e pode prosseguir para a próxima secção, os acabamentos.

#### 4.3.1 Medidas de desempenho

De acordo com a definição de sistema produtivo e para uma melhor compreensão da relação entre o caso real e o caso modelado, a figura 36 juntamente com a tabela 4 detalha que métodos foram utilizados (separadamente) em cada fase do sistema.

Na tabela podemos observar diferentes regras usadas como o FIFO (First In First Out), que significa que a primeira ordem de produção a chegar ao sistema é a primeira a ser produzida. Com isto também

podemos sequenciar os materiais pela ordem de trabalho que vai levar mais tempo no sistema, LVF (Largest Value First) e ainda pela ordem de trabalho que menos tempo precisa para terminar a sua produção, SVF (Short Value First).

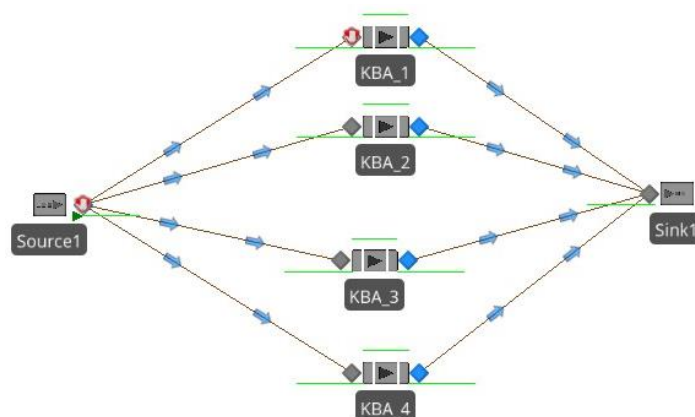


Figura 35. Ambiente produtivo da Norprint

Tabela 4: Regras usadas no modelo de simulação

<u>Escalonamento / Afetação</u>	<u>Sequenciamento</u>	<u>Monitorização</u>
<u>Source1</u>	<u>Nas máquinas (KBAs)</u>	<u>Sink1</u>
FIFO	FIFO	Supervisão
CONWIP	SVF	
	LVF	

No modelo de simulação serão testados dois tipos de escalonamento, 3 tipos de sequenciamento nas workstations, como exposto na figura 34 e tabela 4.

Quanto às medidas de desempenho estudadas, tabela 5, serão o tempo de uma obra no sistema e ainda a percentagem de produtos que acabaram a sua produção dentro do tempo previsto.

Relativamente ao cálculo da *Due Date*, através dos dados obtidos durante o estágio curricular este valor foi obtido pelo SIMIO™ através da seguinte expressão: **Random.Uniform(5,25)**.

Tabela 5: Medidas de desempenho usadas

Medidas de desempenho
Tempo no sistema (Time In System)
% de produtos que acabaram dentro do tempo previsto

Ainda através do SIMIO™ foi possível calcular uma das medidas de desempenho: o cálculo da percentagem de produtos que terminavam a sua produção dentro do tempo previsto (*DueDate*).

Serão testados os mesmos cenários, mas apenas com 3 máquinas (figura 37), com a finalidade de saber até que ponto é viável, a remoção de uma máquina, poupando custos, fazendo o mesmo trabalho.

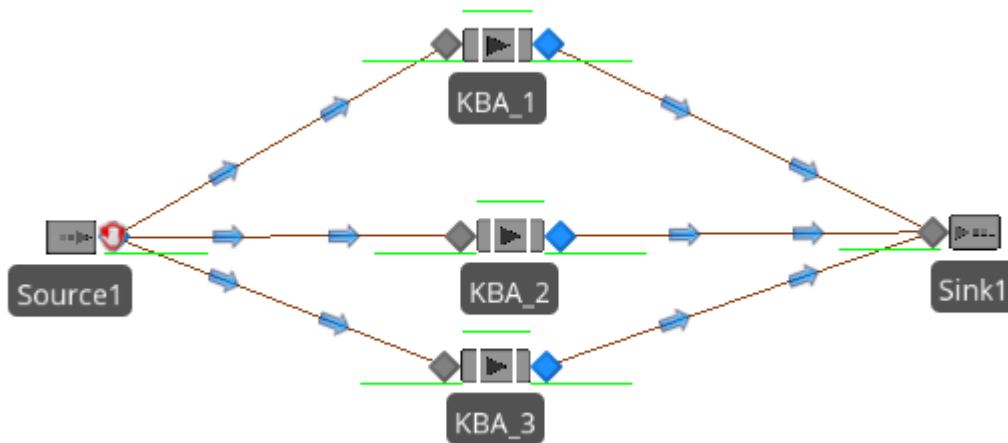


Figura 36. Ambiente produtivo apenas com 3 máquinas

#### 4.3.2 Routing Group

Posteriormente, é usado o modelo Routing Group. O modelo Routing Group ilustra o uso *Entity Destination Type* como "Use Custom Routing Group":

Routing Logic	
Outbound Trav...	Continue
Outbound Link ...	Any
Outbound Link ...	Shortest Path
Entity Destin...	Use Custom Routing...
Routing Grou...	RoutingGroup1
Selection ...	Smallest Value
Selection ...	Candidate.Node.Ass...

Figura 37: Entity Destination Type - Routing Group

Isto significa que a modelação é idêntica ao mostrado no ponto anterior, mas difere no modo de colocação das ordens de trabalho.

A ordenação do produto (o Livro) é previamente programada e alocada em diferentes servidores, para que, quando um servidor estiver disponível, a entidade seja "puxada" da mesma fila de espera, restringindo a escolha das máquinas designadas como disponíveis.

### 4.3.3 CONWIP

Para além do método do *Routing Group*, também vai ser testado um controlo de atividade de produção estudado na revisão bibliográfica. Como foi referido, será o método CONWIP (Constant work in process), mais concretamente, controla a fila de espera através de um recurso (**Resource1**). Esse recurso que é um sistema de cartões (Kanbans) que estão ligados a um determinado trabalho, onde nenhum trabalho pode entrar no sistema sem ter um cartão associado.

As figuras 39 e 40 representam a modelação deste mecanismo assim como as características do recurso utilizado. Como cada máquina só produz um trabalho de cada vez, o número de cartões é igual ao número de máquinas no sistema.

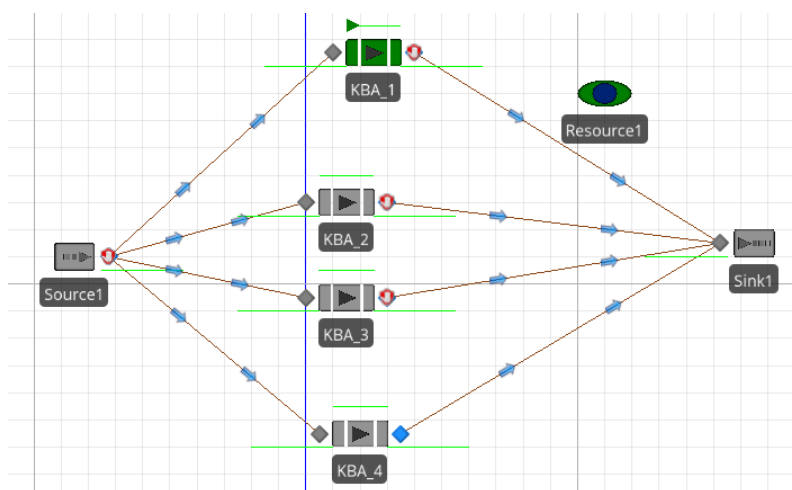


Figura 38. Modelo CONWIP no SIMIO<sup>™</sup>

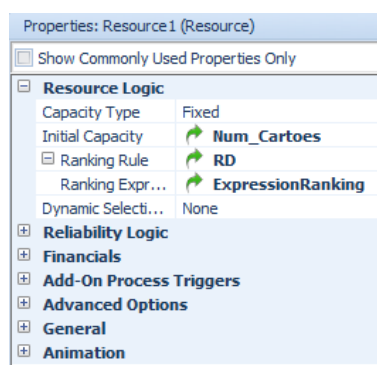


Figura 39. Propriedades do Resource1



## 5. ESTUDO DE SIMULAÇÃO

Após analisado o funcionamento do modelo é necessário proceder à análise dos resultados.

Está dividida em 3 partes:

- Caso Real 1 - 3 e 4 de abril de 2018;
- Caso Real 2 - 24 e 25 de maio de 2018.

Posteriormente, será elaborada uma análise dos mesmos.

### 5.1 Caso Real 1 – 3 e 4 de abril de 2018

Após uma análise ao pormenor do fluxo de trabalho da empresa, nos dias 3 e 4 de abril, foi possível obter os resultados apresentados na tabela 6.

*Tabela 6: Dados Caso Real 1 (tempos em horas)*

<i>Obra</i>	<i>OrderID</i>	<i>Family</i>	<i>ReleaseDate</i>	<i>SetupTime</i>	<i>ProductionTime</i>	<i>TotalTime</i>	<i>Class</i>
<i>Obras Pioneiras</i>	1	Part20	0	0,87	6,41	7,27	4
<i>Everlux</i>	2	Part38	0	0,28	7,41	7,70	6
<i>Miguel D'atte</i>	3	Part35	0	0,83	7,59	8,43	3
<i>A Nona Vítima</i>	4	Part1	0	0,25	6,70	6,95	1
<i>O Livro das Decisões</i>	5	Part17	0	0,25	6,41	6,66	1
<i>Catálogo Galvão</i>	6	Part56	0	0,87	7,29	8,15	8
<i>Golden Generation</i>	7	Part48	0	0,87	23,76	24,62	8
<i>Belmiro dos Santos</i>	8	Part23	0	0,83	6,48	7,31	7
<i>Sinalux</i>	9	Part54	0	0,28	6,95	7,24	6
<i>Conselhos para ler</i>	10	Part52	0	0,28	7,76	8,04	6

#### 5.1.1 Caso Real 1

Este modelo serve apenas para retratar a realidade nos dias 3 e 4 de abril.

Como dito anteriormente, os dados utilizados foram todos recolhidos na empresa, durante o período do estágio curricular e a percentagem de produtos que cumpriu a data de entrega rondou os 35%.

No caso simulado, foi de 38%, e os trabalhos demoraram 18.54 horas a percorrer o sistema.

Estes valores vão de encontro aos valores obtidos durante o estágio por serem valores aproximados.

Os resultados obtidos podem ser observados na figura 41.

Scenario			Replications		Controls			Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Escolha_da_...	ExpressionRanking	ProcessingTime (Minutes)	TimeInSystem	PCCumpriuDD
<input checked="" type="checkbox"/>	Real1	Compl...	100	100 of 100	Smallest Value	Table1.DueDate	Table1.ProductionTime	18,5393	0,387381
* <input type="checkbox"/>									

Figura 40. Modelo Real do caso 1

### 5.1.2 Caso Real 1 – Aplicação do *Routing Group*

O método do *Routing Group*, como foi dito anteriormente, serve para distribuir as tarefas para cada workstation, tendo em conta de forma automática, o que está a ser produzido no momento e ainda a fila de espera nas máquinas.

Neste caso, para os modelos com a utilização de 4 máquinas e 3 máquinas, foram usadas as regras apresentadas na tabela 7:

Tabela 7: Regras usadas para o Caso Real 1 - Modelo *Routing Group*

<u>Escalonamento / Afetação</u>	<u>Sequenciamento</u>	<u>Nº Máquinas</u>	<u>Monitorização</u>
<u>Source1</u>	<u>KBA</u> s	<u>N KBA</u> s	<u>Sink1</u>
FIFO	SVF	3	Supervisão
	LVF	4	
	FIFO		

Após modelação no SIMIO™, obteve-se os resultados apresentados na figura 42:

Scenario			Replications		Controls		Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	RD	NodeListProperty1 ▲	TimeInSystem (Hours)	PercCumpriu
<input checked="" type="checkbox"/>	FIFO 4 MAQ	Idle	100	100 of 100	First In First ...	NodeList1	17,3075	0,448148
<input checked="" type="checkbox"/>	LVF 4 MAQ	Idle	100	100 of 100	Largest Value...	NodeList1	17,2397	0,560185
<input checked="" type="checkbox"/>	SVF 4 MAQ	Idle	100	100 of 100	Smallest Valu...	NodeList1	17,3075	0,448148
<input checked="" type="checkbox"/>	FIFO 3 MAQ	Idle	100	100 of 100	First In First ...	NodeList2	22,2734	0,359226
<input checked="" type="checkbox"/>	LVF 3 MAQ	Idle	100	100 of 100	Largest Value...	NodeList2	23,0492	0,454603
<input checked="" type="checkbox"/>	SVF 3 MAQ	Idle	100	100 of 100	Smallest Valu...	NodeList2	18,1272	0,359226
<input type="checkbox"/>								

Figura 41. *Routing Group* - Caso Real 1

Nestes cenários, obteve-se resultados positivos e de forma geral, foram melhores que o modelo real.

Como se pode verificar na figura 42 foram testados 6 cenários: um cenário para cada regra de despacho (coluna RD – Regra de Despacho) com 3 e 4 máquinas.

Estes 6 cenários foram replicados 100 vezes.

Nos cenários com 4 máquinas é importante salientar que aplicando qualquer dos métodos, a percentagem de produtos acabados subiu de forma notória.

Nos cenários com 3 máquinas, como seria de esperar, os resultados são piores do que quando existe a utilização de 4 máquinas. No entanto, a redução de custos é um fator importante para a empresa e por isso mesmo é importante analisá-los.

Quanto à regra FIFO, sendo o cenário menos favorável, o tempo de percurso aumentou bastante e a percentagem de produtos acabados diminuiu.

Qualquer um dos outros dois cenários, teve melhorias relativamente ao SVF ou FIFO. Quanto ao LVF (Tanto no cenário com 3 máquinas como no cenário com 4 máquinas) é possível verificar uma percentagem de produtos acabados bastante acima da percentagem verificada no caso real.

Na figura 43 e 44 é possível comparar os diferentes cenários.

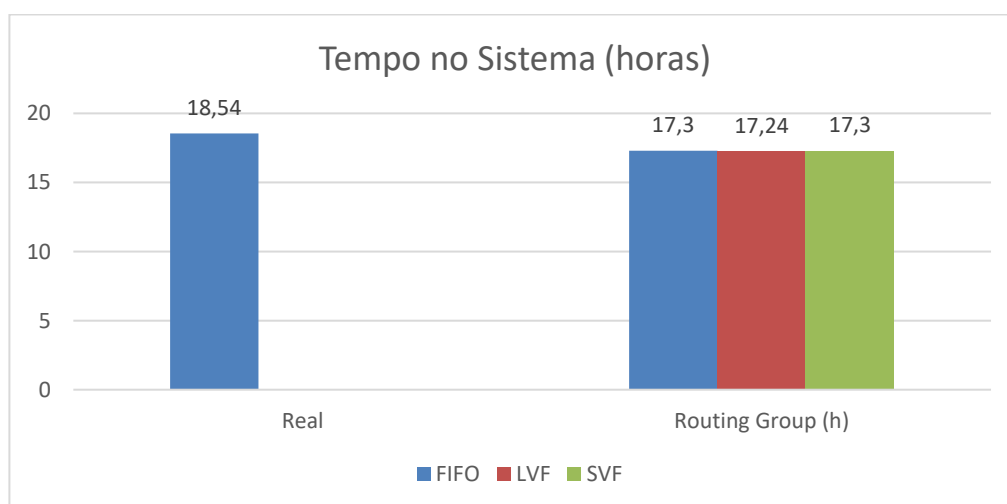


Figura 42. Impacto no “tempo no sistema” pelo método Routing Group

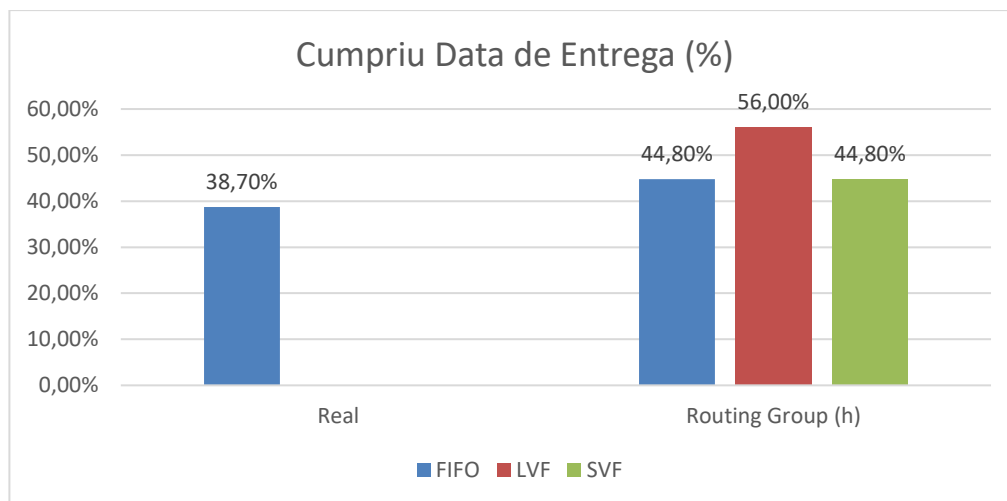


Figura 43. Impacto “cumpriu data de entrega” pelo método Routing Group

Como podemos analisar pelos gráficos das figuras 43 e 44, existem ligeiras alterações no que diz respeito ao tempo que um trabalho demora no sistema. No entanto, nos três casos, os resultados são melhores: foram executadas as mesmas ordens produtivas em menos uma hora de trabalho. Quanto à percentagem de produtos acabados utilizando uma regra de sequenciamento “*Largest Value First*” traz diferenças de resultados muito significativas relativamente à quantidade de produtos que cumprem as datas de entrega.

### 5.1.3 Caso Real 1 – Aplicação do CONWIP

Como dito no ponto 4.4.4, este mecanismo é o modelo base de qualquer mecanismo de controlo de atividade e por isso mesmo foi adicionado o número de cartões, que significa que cada máquina apenas pode estar com um trabalho. Na tabela 8 é possível consultar a informação para este modelo.

Tabela 8: Regras usadas para o Caso Real 1 - WIP

<u>Escalonamento / Afetação</u>	<u>Sequenciamento</u>	<u>Nº Máquinas</u>	<u>Kanbans</u>	<u>Monitorização</u>
<u>Source1</u>	<u>KBAs</u>	<u>N KBAs</u>	<u>Cartões</u>	<u>Sink1</u>
FIFO	SVF	3	3	Supervisão
	LVF	4	4	
	FIFO			

Na figura 45 podemos verificar que também se obteve resultados positivos e de forma geral, foram melhores que o modelo real.

É um modelo mais estável relativamente à aplicação do *Routing Group* porque há menores discrepâncias nos resultados. A variação dos resultados não é tão acentuada como no modelo anterior. Por exemplo, quanto ao tempo no sistema, no Routing Group, o intervalo de valores é maior do que neste modelo.

Como se pode verificar na figura 45 foram testados também 6 cenários: um cenário para cada regra de despacho (coluna RD – Regra de Despacho) com 3 e 4 máquinas.

Os 6 cenários foram replicados 100 vezes.

Nos cenários com 4 máquinas é importante salientar que aplicando qualquer dos métodos, a percentagem de produtos acabados subiu de forma elevada.

Nos cenários com 3 máquinas, como seria de esperar, os resultados são piores do que quando existe a utilização de 4 máquinas.

Scenario			Replications		Controls			Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	RD	NodeListProperty1 ▲	Num_Cartoes	TimeInSystem...	PercCumpriu
<input checked="" type="checkbox"/>	FIFO 4 MAQ	Idle	100	100 of 100	First In First Out	NodeList1	4	17,1841	0,448148
<input checked="" type="checkbox"/>	LVF 4 MAQ	Idle	100	100 of 100	Largest Value First	NodeList1	4	17,1716	0,560185
<input checked="" type="checkbox"/>	SVF 4 MAQ	Idle	100	100 of 100	Smallest Value First	NodeList1	4	21,3287	0,422222
<input checked="" type="checkbox"/>	FIFO 3 MAQ	Idle	100	100 of 100	First In First Out	NodeList2	3	18,299	0,359226
<input checked="" type="checkbox"/>	LVF 3 MAQ	Idle	100	100 of 100	Largest Value First	NodeList2	3	17,4727	0,387381
<input checked="" type="checkbox"/>	SVF 3 MAQ	Idle	100	100 of 100	Smallest Value First	NodeList2	3	18,0458	0,359226
<input type="checkbox"/>									

Figura 44. Resultados Caso Real 1 – CONWIP

Qualquer um dos cenários, com a utilização de 3 máquinas, obteve resultados muito satisfatórios visto que foram idênticos ao caso real. Como dito anteriormente a redução de custos é um fator importante para a empresa e por isso mesmo não deixam de ser resultados positivos.

Nas figuras 46 e 47 é possível comparar os diferentes cenários.

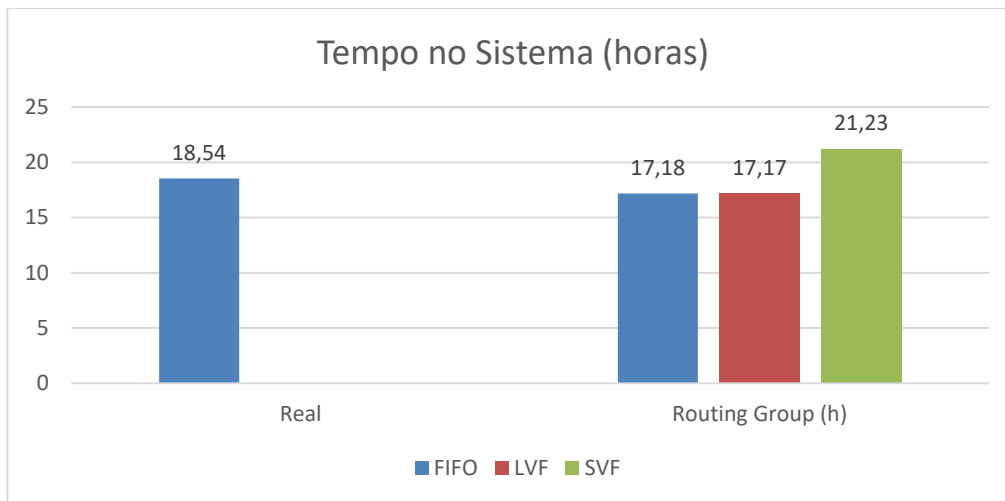


Figura 45: Impacto no "tempo no sistema" pelo método CONWIP

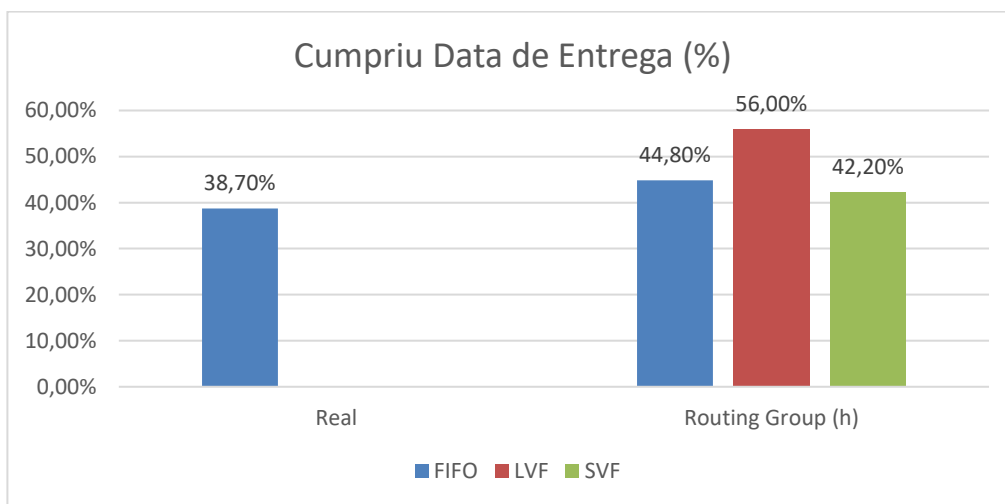


Figura 46. Impacto no "cumprir data de entrega" pelo método CONWIP

Quanto a este mecanismo, apenas é preciso realçar o impacto que continua a ter a introdução de uma regra LVF no sistema. Qualquer um dos outros dois cenários, teve melhorias. Quanto ao LVF é possível verificar uma percentagem de produtos acabados bastante acima da percentagem atual.

O tempo de sistema dos seus produtos desce ligeiramente, e consegue uma percentagem muito elevada de produtos acabados.

## 5.2 Caso Real 2 – 24 e 25 de maio de 2018

Para uma melhor validação dos resultados, analisou-se o dia 24 e 25 de maio, e recolheu-se os dados que estão apresentados na tabela 9:

Tabela 9. Dados Caso Real 2 (tempo em horas)

<b><i>Obra</i></b>	<b><i>OrderID</i></b>	<b><i>Family</i></b>	<b><i>SetupTime</i></b>	<b><i>ProductionTime</i></b>	<b><i>TotalTime</i></b>	<b><i>Class</i></b>
<b><i>Galeria Militar</i></b>	1	Part40	0,87	7,75	8,61	<b>8</b>
<b><i>Banda</i></b>	2	Part29	0,25	22,46	22,71	<b>5</b>
<b><i>Desenhada</i></b>						
<b><i>LaForcade</i></b>	3	Part23	0,83	6,48	7,31	<b>7</b>
<b><i>Fotogaleria</i></b>	4	Part48	0,87	23,76	24,62	<b>8</b>
<b><i>Estação</i></b>						
<b><i>Coimbra</i></b>						
<b><i>Atelier Digital</i></b>	5	Part5	0,25	6,76	7,01	<b>5</b>
<b><i>Na Massa do</i></b>	6	Part17	0,25	6,41	6,66	<b>1</b>
<b><i>Sangue</i></b>						
<b><i>A Garrafa</i></b>	7	Part1	0,25	6,70	6,95	<b>1</b>
<b><i>Mágica</i></b>						
<b><i>Material</i></b>	8	Part29	0,25	22,46	22,71	<b>5</b>
<b><i>Escolar</i></b>						
<b><i>Cerâmica</i></b>	9	Part24	0,87	6,48	7,35	<b>8</b>
<b><i>Jerusalém</i></b>	10	Part34	0,28	7,32	7,60	<b>2</b>
<b><i>Primeiro</i></b>	11	Part33	0,25	7,30	7,55	<b>1</b>
<b><i>Tratado</i></b>						
<b><i>Pedagógico</i></b>						
<b><i>O Ano da Morte</i></b>	12	Part9	0,25	22,71	22,96	<b>1</b>
<b><i>de Ricardo Reis</i></b>						
<b><i>Paula Rego</i></b>	13	Part9	0,25	22,71	22,96	<b>1</b>

### 5.2.1 Caso Real 2

Tal como no Caso Real 1 este modelo serve apenas para retratar a realidade dos dois dias de maio. Como dito anteriormente, os dados utilizados foram todos recolhidos na empresa, durante o período do estágio curricular e a percentagem média de produtos que cumpriu a data de entrega rondou os 35%. Neste caso, como pode ser observado na figura 48, foi ligeiramente inferior, foi de 30% e os trabalhos demoraram 27.7 horas a percorrer o sistema. Devido ao elevado fluxo de trabalho que a empresa sofreu naquele mês, fez com que a empresa a percentagens de produtos acabados fosse inferior ao normal.

Scenario		Replications		Controls			Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	NodeListProperty1	Escolha_da_Maquina	ExpressionRanking	TimeInSystem
<input checked="" type="checkbox"/>	Real1	Compl...	100	100 of 100	NodeList1	Smallest Value	Table1.DueDate	27,651
<input type="checkbox"/>								0,300643

Figura 47. Modelo Real do caso 2

### 5.2.2 Caso Real 2 – Aplicação do *Routing Group*

Como explicado no ponto 5.1.2, agora vão mostrados e analisados os resultados referentes à aplicação do *Routing Group* no Caso Real 2.

As regras usadas são as mesmas usadas no caso anterior, e podem ser consultadas na tabela 7.

Posto isto, obteve-se os resultados apresentados na figura 49.

Scenario			Replications		Controls			Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	RD	NodeListProper...	ExpressionRanking	TimeInSystem (Hours)	PercCumpriu
<input checked="" type="checkbox"/>	FIFO 4 MAQ	Completed	100	100 of 100	First In First ...	NodeList1		27,8895	0,390112
<input checked="" type="checkbox"/>	LVF 4 MAQ	Completed	100	100 of 100	Largest Value...	NodeList1	ModelEntity.EntityD...	29,3019	0,46872
<input checked="" type="checkbox"/>	SVF 4 MAQ	Completed	100	100 of 100	Smallest Valu...	NodeList1	ModelEntity.EntityD...	27,8895	0,390112
<input checked="" type="checkbox"/>	FIFO 3 MAQ	Completed	100	100 of 100	First In First ...	NodeList2		32,1098	0,37904
<input checked="" type="checkbox"/>	LVF 3 MAQ	Completed	100	100 of 100	Largest Value...	NodeList2	ModelEntity.EntityD...	37,2192	0,580655
<input checked="" type="checkbox"/>	SVF 3 MAQ	Completed	100	100 of 100	Smallest Valu...	NodeList2	ModelEntity.EntityD...	29,3041	0,324859

Figura 48. Resultados Caso Real 2 - *Routing Group*

Nestes cenários, obteve-se resultados positivos e de forma geral, foram melhores que o modelo real.

Como se pode verificar na figura 49 foram testados 6 cenários: um cenário para cada regra de despacho (coluna RD – Regra de Despacho) com 3 e 4 máquinas.

Estes 6 cenários foram replicados 100 vezes.

Nos cenários com 3 máquinas, como seria de esperar, os resultados são piores do que quando existe a utilização de 4 máquinas.

Quanto à regra LVF, sendo o cenário menos favorável em termos de tempo no sistema, a percentagem de produtos acabados aumentou consideravelmente, tendo valores de produtos acabados dentro do tempo expectável muito superiores a qualquer outro cenário.

Quanto aos outros dois cenários, foram melhores relativamente à representação real.

Na figura 50 e 51 é possível comparar os diferentes cenários.



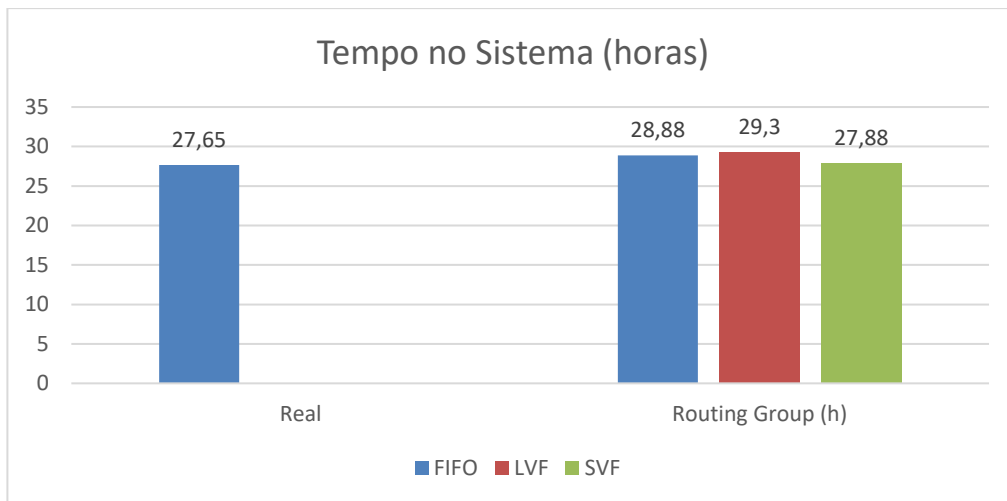


Figura 49: Impacto no "tempo no sistema" pelo método Routing Group

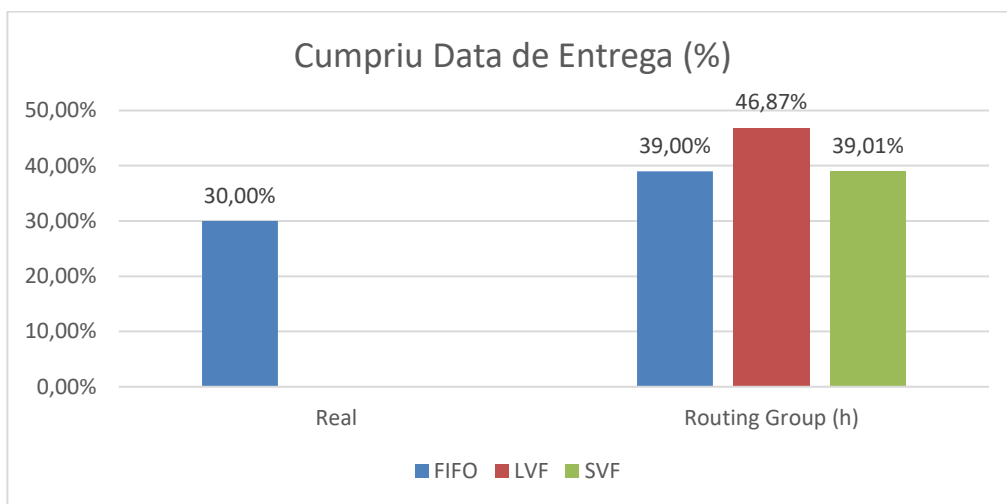


Figura 50. Impacto no "cumprir data de entrega" pelo método Routing Group

### 5.2.3 CONWIP

Tal como no caso real 1 foi adicionado o número de cartões, que significa que cada máquina apenas pode estar com um trabalho.

Deste modo, os dados utilizados para este modelo, podem ser encontrados na tabela 8, como no Caso Real 1.

Neste caso, os resultados foram bastante surpreendentes, mas sempre favorecendo a mesma regra: *L/F*, que conseguiu cumprir com 68% de produtos dentro do tempo de entrega.

Na figura 52 podemos verificar que se obteve resultados favoráveis e de forma geral foram bem melhores que o modelo real.

É um modelo mais estável relativamente à aplicação do *Routing Group* pois há menores variações nos resultados.

Como se pode verificar na figura 52 foram testados também 6 cenários: um cenário para cada regra de despacho (coluna RD – Regra de Despacho) com 3 e 4 máquinas.

OS 6 cenários foram replicados 100 vezes.

Scenario			Replications		Controls				Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	RD	NodeListProperty1	ExpressionRanking	Num_Cartoes	TimeInSystem...	PercCumpru
<input checked="" type="checkbox"/>	FIFO 4 MAQ	Compl...	100	100 of 100	First In First Out	NodeList1		4	24,6735	0,376223
<input checked="" type="checkbox"/>	LVF 4 MAQ	Compl...	100	100 of 100	Largest Value First	NodeList1	ModelEntity.Entity...	4	27,5666	0,680364
<input checked="" type="checkbox"/>	SVF 4 MAQ	Compl...	100	100 of 100	Smallest Value First	NodeList1	ModelEntity.Entity...	4	23,4617	0,334116
<input checked="" type="checkbox"/>	FIFO 3 MAQ	Compl...	100	100 of 100	First In First Out	NodeList2		3	29,0136	0,359040
<input checked="" type="checkbox"/>	LVF 3 MAQ	Compl...	100	100 of 100	Largest Value First	NodeList2	ModelEntity.Entity...	3	35,0177	0,458218
<input checked="" type="checkbox"/>	SVF 3 MAQ	Compl...	100	100 of 100	Smallest Value First	NodeList2	ModelEntity.Entity...	3	27,4977	0,295097

Figura 51. Resultados Caso Real 2 – CONWIP

Quanto aos cenários de utilização de apenas 3 máquinas é possível verificar que quanto à regra LVF, sendo o cenário menos favorável, o tempo de percurso aumentou bastante, mas percentagem de produtos acabados aumentou, tal como no *Routing Group*.

Quanto aos outros dois cenários, foram melhores relativamente à representação real pois manteve os valores totais de produção de cerca de 17 horas, mas com uma percentagem de produtos acabados superior.

Na figura 53 e 54 é possível comparar os diferentes cenários.

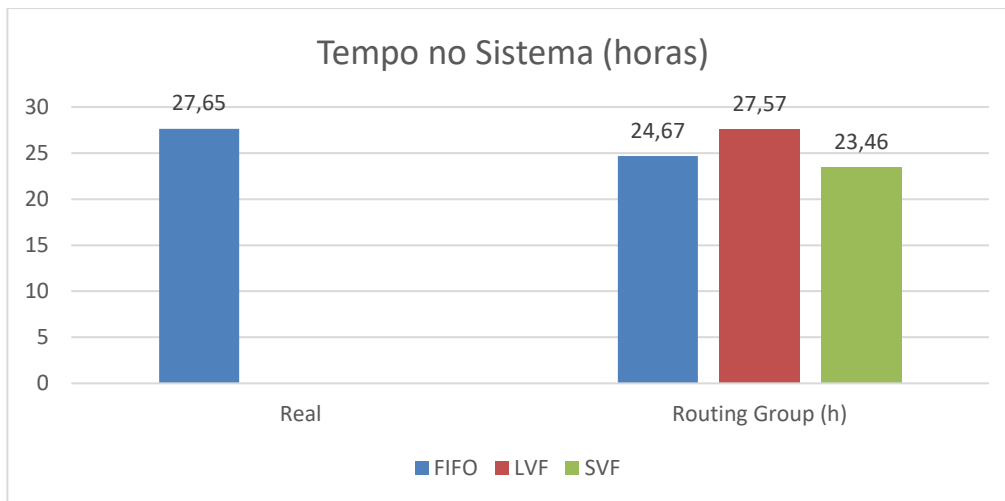


Figura 52: Impacto no "tempo no sistema" pelo método CONWIP

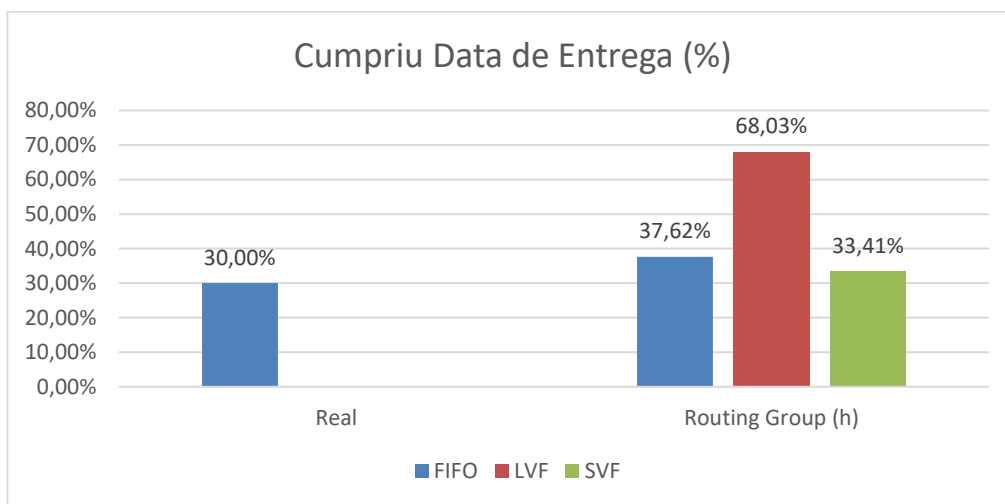


Figura 53. Impacto no "cumprir data de entrega" pelo método CONWIP

No que diz respeito à aplicação do mecanismo CONWIP no caso 2, podemos referir que trouxe melhorias ao sistema. Isto, porque as duas medidas de desempenho que o modelo tem em conta, alteraram a favor da empresa. Mais concretamente, este mecanismo de valores de percentagem de produtos acabados dentro do tempo previsto de mais de o dobro da atualidade da empresa (de 30% no caso real para 68% no método de afetação LPT)

Este mecanismo teria um impacto muito positivo, não só a nível de prazos de entrega, mas também a nível financeiro. A nível financeiro também devido ao ser possível produzir os mesmos resultados, mas com menos workstations/recursos, no mesmo horizonte temporal.

### 5.3 Conclusão dos Resultados

As experiências realizadas serviram para analisar a situação evidenciada nos dois casos de estudo em comparação com a possível utilização de outros mecanismos de produção.

Relembrando que a simulação de modelos permite responder a questões do tipo “O que aconteceria se?”, de maneira geral, qualquer cenário será uma boa opção para tentar melhorar a forma de trabalhar da Norprint, e o que aconteceria era que existiriam melhores resultados a curto e longo prazo para a empresa.

No entanto, esses resultados seriam obtidos mais rapidamente optando pelo modelo LVF (“*Largest Value First*”), através do mecanismo CONWIP. Para além deste mecanismo se ter comportado de forma menos discrepante do que o método do *Routing Group*, obteve-se percentagens de produtos acabados de quase o dobro da percentagem real.

Com isto, é também importante referir que a classe da encomenda tem influência nos resultados, devido a existir classes que exijam um tempo de preparação superior a outras, principalmente quando o nível de exigência do cliente é elevado.

Concluindo a análise feita relativamente à utilização de menos uma máquina no sistema, qualquer resultado é considerado uma mais valia para a empresa comparativamente aos cenários reais, porque é possível o mesmo desempenho, com menos um recurso.

Na figura 55 é possível observar um diagrama que contém todos os caminhos estudados.

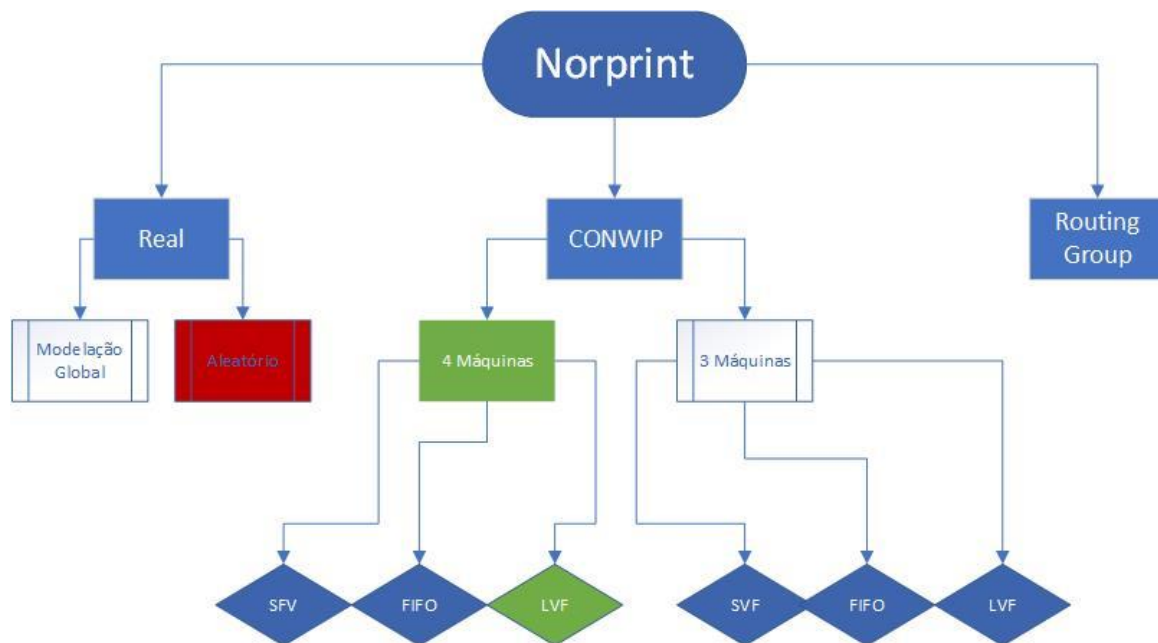


Figura 54. Resumo dos Resultados

Foram estudados todos os caminhos apresentados e comparados entre eles.

De um modo geral, o estudo está dividido em três fases: Real, CONWIP e Routing Group, cada um deles com as suas subdivisões.

Em jeito de resumo, na figura 55 podemos verificar colorido a cor verde, o caminho mais benéfico para o sistema produtivo da empresa.

É de salientar que a aplicação desta regra no sistema de produção da Norprint, não trará custos adicionais, apenas conseguirá fazer mais, com os mesmo recursos.



## 6. CONCLUSÕES

Ao longo do desenvolvimento deste projeto revelou-se de extrema importância compreender quais as ferramentas necessárias para o desempenho de uma empresa e, inclusive, qual a relevância do funcionamento eficiente da sua orgânica.

Conclui-se que uma nova proposta foi desenvolvida e a mesma demonstrou melhorias face às que estão em vigor atualmente na empresa Norprint. Esta mudança acarreta benefícios quanto à eficiência em termos de produção, e, consecutivamente, quanto à satisfação dos clientes. Através desta jornada, foi possível adquirir estratégias para identificar possíveis obstáculos, desenvolver caminhos alternativos e alcançar melhores resultados.

### 6.1 Experiência na Norprint

Quanto à “empresa” Norprint, é importante agradecer esta experiência bastante enriquecedora e, também pela calorosa receção obtida. A capacidade de integração foi extremamente positiva e pela primeira vez, foi possível aplicar os conhecimentos teóricos que foram adquiridos tanto na Licenciatura como no Mestrado. Permitiu também expandir a rede de contatos e ainda experienciar e resolver tomadas de decisão do mundo empresarial. Foi uma excelente entrada no mundo do trabalho, além de uma enorme fonte de conhecimentos e aptidões que jamais serão esquecidas.

### 6.2 Trabalho Futuro

A nível de perspetiva futura, sugere-se a implementação da proposta apresentada, que não foi possível ser posta em prática devido ao tempo limitado deste estágio, bem como a análise de sensibilidade do modelo realizado, com a finalidade de testar o efeito de uma variação de alguma das variáveis utilizadas. Para além desta medida, e para tornar o modelo cada vez mais fidedigno, seria interessante introduzir mais 2 variantes no modelo:

- Integração do fator avaria/interrupção das máquinas;
- Adicionar ordem de trabalho com prioridade urgente;
- E ainda, introduzir a percentagem de utilização das máquinas.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, A. C. (1999). Metodologia para a concepção de sistemas de produção orientados ao produto. Retrieved from <https://www.rcaap.pt/detail.jsp?id=oai:repositorium.sdum.uminho.pt:1822/9>
- Brucker, P. (2007). *Scheduling algorithms. Scheduling Algorithms*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69516-5>
- Carmo, S. (2015). GESTÃO DA PRODUÇÃO Rev 04-2015.
- Coelho, A. D. (2010). Análise Do Planeamento e da Gestão Turística, 1–194.
- Cordeiro, A. (2011). Análise das barreiras à inovação em pequenas e médias empresas em Portugal. *Dissertações de Mestrado*. Retrieved from <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/16489>
- Da, D. E. P., Em, P., & Flow, S. (2005). Métodos heurísticos construtivos para o problema de programação da produção em sistemas.
- Filipe, N., & Loureiro, P. (2014). Utilização do Simulated Annealing na resolução de problemas no planeamento de produção.
- Fusco J, ; Sacomano J. (2007). *Operações E Gestão Estratégica Da Produção - José Paulo Alves Fusco - Google Livros*. Retrieved from [https://books.google.pt/books?id=x0U5yVqUYb0C&pg=PA25&lpg=PA25&dq=Operações+E+Gestão+Estratégica+Da+Produção+mendeley&source=bl&ots=9EVTNEQvgS&sig=ACfU3U2EIRveaNZfEdik5xoh9sVa6EmCNg&hl=pt-PT&sa=X&ved=2ahUKEwjPoPTg4vzfAhW\\_A2MB](https://books.google.pt/books?id=x0U5yVqUYb0C&pg=PA25&lpg=PA25&dq=Operações+E+Gestão+Estratégica+Da+Produção+mendeley&source=bl&ots=9EVTNEQvgS&sig=ACfU3U2EIRveaNZfEdik5xoh9sVa6EmCNg&hl=pt-PT&sa=X&ved=2ahUKEwjPoPTg4vzfAhW_A2MB)
- Gallaughier, J. (2015). Information Systems: A Manager's Guide to Harnessing Technology. <https://doi.org/10.1063/1.335978>
- Ghinato, P. (1995). Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-in-Time. *Production*, 5(2), 169–189. <https://doi.org/10.1590/S0103-65131995000200004>
- John B. Thompson. (1995). A mídia e a modernidade: Uma teoria social da mídia.
- Kelton, W. D. (2015). *Simulation with Arena. Department of Operations, Business Analytics, and Information Systems University of Cincinnati*. <https://doi.org/10.1036/0072919817>
- Lázaro, L. L. B., & Gremaud, A. P. (2015). A responsabilidade social empresarial e sustentabilidade na América Latina: Brasil e México. *Revista de Administração Da UFSM*, 9(1), 138. <https://doi.org/10.5902/19834659>
- Norprint. (2017). Norprint – A casa do livro. Retrieved from <https://norprint.pt/wp/>
- Paredis, C. J. J., & Jonhnsen, T. (2008). Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference S. J.

- Mason, R. R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J. W. Fowler eds. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. <https://doi.org/10.1029/2009GL038888>
- Pinedo, M. L. (2012). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems* (Vol. 91).
- Rees, F. (2008). *Johann Gutenberg: inventor of the printing press*. Minneapolis, Minn.; Perth: Capstone ; Roundabout [distributor].
- Ribeiro, A. J. A. de S. (2004). Desempenho Empresarial em Indústrias de Artes Gráficas, 156.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2008). *Research Methods for Business Students. Research methods for business students*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Silva, C., Reis, V., Morais, A., Brilenkov, I., Vaza, J., Pinheiro, T., ... Carmo-Silva, S. (2017). A comparison of production control systems in a flexible flow shop. *Procedia Manufacturing*, 13, 1090–1095. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.169>
- Simio LLC. (2018). About Simio | Simio. Retrieved from <https://www.simio.com/about-simio/>
- Varela, Ma. L. R. (2007). Uma Contribuição para o Escalonamento da Produção baseado em Métodos Globalmente Distribuídos, 270.
- Williamson, D. P., & Shmoys, D. B. (2011). *The design of approximation algorithms. The Design of Approximation Algorithms*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511921735>

## ANEXOS

### ANEXO I – TEMPOS DE PRODUÇÃO

*Tabela 10: Tempos de produção das famílias de produtos (tempos em horas)*

Family	TotalTime (h)
AMS	6,7
BMS	6,98
CMS	7,53
DMS	7,56
EMS	7,01
FMS	7,04
GMS	7,62
HMS	7,66
AGS	22,46
BGS	22,99
CGS	23,54
DGS	23,58
EGS	23,02
FGS	23,05
GGs	23,63
HGS	23,67
AMN	6,41
BMN	6,69
CMN	7,24
DMN	7,27
EMN	6,7
FMN	6,74
GMN	7,31
HMN	7,35
AGN	22,42
BGN	22,7
CGN	23,25
DGN	23,28
EGN	22,71
FGN	22,75
GGN	23,33
HGN	23,36
AMSA	7,3
BMSA	7,6
CMSA	8,43
DMSA	8,48

EMSA	7,64
FMSA	7,7
AMSA	8,31
HMSA	8,61
AGSA	23,56
BGSA	23,61
CGSA	24,44
DGSA	24,49
EGSA	23,65
FGSA	23,71
GGSA	24,57
HGSA	24,62
AMNA	6,86
BMNA	7,16
CMNA	7,99
DMNA	8,04
EMNA	7,18
FMNA	7,24
GMNA	8,1
HMNA	8,15
AGNA	22,88
BGNA	23,18
CGNA	24
DGNA	24,05
EGNA	23,19
FGNA	23,25
GGNA	24,11
HGNA	24,17

## ANEXO II – COMBINAÇÕES DE PRODUTOS

*Tabela 11: Combinações de produtos existentes na Norprint*

Com Guilhotina		Sem Guilhotina		Com Guilhotina		Sem Guilhotina	
Quantidade				Quantidade			
Média	Grande	Média	Grande	Média	Grande	Média	Grande
AMS	AGS	AMN	AGN	AMSA	AGSA	AMNA	AGNA
BMS	BGS	BMN	BGN	BMSA	BGSA	BMNA	BGNA
CMS	CGS	CMN	CGN	CMSA	CGSA	CMNA	CGNA
DMS	DGS	DMN	DGN	DMSA	DGSA	DMNA	DGNA
EMS	EGS	EMN	EGN	EMSA	EGSA	EMNA	EGNA
FMS	FGS	FMN	FGN	FMSA	FGSA	FMNA	FGNA
GMS	GGs	GMN	GGN	AMSA	GGSA	GMNA	GGNA
HMS	HGS	HMN	HGN	HMSA	HGSA	HMNA	HGNA
Qualidade Média				Qualidade Alta			
64 combinações							

## ANEXO III – DADOS MODELO GLOBAL

Tabela 12: Dados importados no modelo global (tempos em horas)

Orderl D	Fami ly	ReleaseD ate	SetupTi me	ProductionTi me	TotalTi me	Clas s	DueDate
1	Part46	0,01	0,28	8,19	8,477	6	Random.Uniform(5,25)
2	Part36	3,02	0,87	6	6,865	4	Random.Uniform(5,25)
3	Part4	6,03	0,87	6,47	7,34	4	Random.Uniform(5,25)
4	Part52	9,04	0,87	21,72	22,583	4	Random.Uniform(5,25)
5	Part28	12,05	0,87	22,92	23,788	4	Random.Uniform(5,25)
6	Part44	15,06	0,87	5,71	6,573	4	Random.Uniform(5,25)
7	Part20	18,07	0,87	22,48	23,35	4	Random.Uniform(5,25)
8	Part60	21,08	0,87	22,01	22,875	4	Random.Uniform(5,25)
9	Part12	24,09	0,87	6,25	7,115	4	Random.Uniform(5,25)
10	Part49	27,1	0,25	23,92	24,165	1	Random.Uniform(5,25)
11	Part64	30,11	0,87	6,09	6,956	8	Random.Uniform(5,25)
12	Part8	33,12	0,87	22,1	22,966	8	Random.Uniform(5,25)
13	Part16	36,13	0,87	22,58	23,446	8	Random.Uniform(5,25)
14	Part63	39,14	0,83	22,13	22,965	7	Random.Uniform(5,25)
15	Part15	42,15	0,83	7,06	7,895	7	Random.Uniform(5,25)
16	Part39	45,16	0,83	5,81	6,648	7	Random.Uniform(5,25)
17	Part23	48,17	0,83	6,12	6,954	7	Random.Uniform(5,25)
18	Part7	51,18	0,83	6,6	7,435	7	Random.Uniform(5,25)
19	Part55	54,19	0,83	23,07	23,905	7	Random.Uniform(5,25)
20	Part47	57,2	0,83	21,83	22,658	7	Random.Uniform(5,25)
21	Part31	60,21	0,83	23,79	24,624	7	Random.Uniform(5,25)

22	Part48	63,22	0,87	6,59	7,455	8	Random.Uniform(5,25)
23	Part56	66,23	0,87	7,05	7,914	8	Random.Uniform(5,25)
24	Part40	69,24	0,87	21,79	22,66	8	Random.Uniform(5,25)
25	Part32	72,25	0,87	5,78	6,65	8	Random.Uniform(5,25)
26	Part24	75,26	0,87	22,19	23,054	8	Random.Uniform(5,25)
27	Part14	78,27	0,28	7,3	7,579	6	Random.Uniform(5,25)
28	Part38	81,28	0,28	6,64	6,927	6	Random.Uniform(5,25)
29	Part6	84,29	0,28	22,35	22,631	6	Random.Uniform(5,25)
30	Part30	87,3	0,28	22,85	23,13	6	Random.Uniform(5,25)
31	Part62	90,31	0,28	6,84	7,119	6	Random.Uniform(5,25)
32	Part54	93,32	0,28	22,84	23,125	6	Random.Uniform(5,25)
33	Part57	96,33	0,25	6,45	6,702	1	Random.Uniform(5,25)
34	Part21	99,34	0,25	22,38	22,629	5	Random.Uniform(5,25)
35	Part29	102,35	0,25	23,29	23,542	5	Random.Uniform(5,25)
36	Part11	105,36	0,83	6,49	7,323	3	Random.Uniform(5,25)
37	Part51	108,37	0,83	22,94	23,771	3	Random.Uniform(5,25)
38	Part43	111,38	0,83	6,18	7,008	3	Random.Uniform(5,25)
39	Part5	114,39	0,25	22,86	23,11	5	Random.Uniform(5,25)
40	Part61	117,4	0,25	23,75	24	5	Random.Uniform(5,25)
41	Part59	120,41	0,83	6,03	6,865	3	Random.Uniform(5,25)
42	Part3	123,42	0,83	6,93	7,76	3	Random.Uniform(5,25)
43	Part35	126,43	0,83	21,75	22,583	3	Random.Uniform(5,25)
44	Part27	129,44	0,83	5,74	6,573	3	Random.Uniform(5,25)
45	Part19	132,45	0,83	6,81	7,643	3	Random.Uniform(5,25)
46	Part37	135,46	0,25	6,85	7,1	5	Random.Uniform(5,25)

47	Part53	138,47	0,25	6,91	7,165	5	Random.Uniform(5,25)
48	Part50	141,48	0,28	22,3	22,583	2	Random.Uniform(5,25)
49	Part26	144,49	0,28	22,59	22,875	2	Random.Uniform(5,25)
50	Part10	147,5	0,28	6,58	6,865	2	Random.Uniform(5,25)
51	Part2	150,51	0,28	22,78	23,058	2	Random.Uniform(5,25)
52	Part58	153,52	0,28	7,2	7,485	2	Random.Uniform(5,25)
53	Part34	156,53	0,28	23,21	23,496	2	Random.Uniform(5,25)
54	Part42	159,54	0,28	6,29	6,573	2	Random.Uniform(5,25)
55	Part18	162,55	0,28	6,66	6,948	2	Random.Uniform(5,25)
56	Part1	165,56	0,25	22,33	22,583	1	Random.Uniform(5,25)
57	Part25	168,57	0,25	23,23	23,479	1	Random.Uniform(5,25)
58	Part41	171,58	0,25	7,22	7,469	1	Random.Uniform(5,25)
59	Part33	174,59	0,25	22,63	22,875	1	Random.Uniform(5,25)
60	Part9	177,6	0,25	6,32	6,573	1	Random.Uniform(5,25)
61	Part17	180,61	0,25	22,77	23,019	1	Random.Uniform(5,25)
62	Part13	183,62	0,25	23,32	23,57	5	Random.Uniform(5,25)
63	Part45	186,63	0,25	6,49	6,737	5	Random.Uniform(5,25)
64	Part22	189,64	0,28	23,31	23,589	6	Random.Uniform(5,25)